

Andrzej Wolff

Mariusz Balicki

Zbigniew Wolff

Sebastian Słaboszewski

Grupa Wolff sp. z o.o. sp.k.,

32-083 Balice, ul. Spacerowa 5

LICZBY NIE KŁAMIĄ. NOWATORSKA METODYKA OCENY RYZYKA WYBUCHU APARATÓW ORAZ WĘZŁÓW PROCESOWYCH DO PRZETWARZANIA MATERIAŁÓW SYPKICH ZAWIERAJĄCYCH PYŁY PALNE I WYBUCHOWE

Numbers don't lie. A novel methodology for assessing the risk
of explosion of devices and process units for processing bulk
materials containing flammable and explosive dusts

Streszczenie

Metodyka AW-OZ jest efektem wielu lat pracy w obszarze bezpieczeństwa wybuchowego i procesowego oraz setek ocen ryzyka wybuchu przeprowadzonych dla instalacji procesowych w większości głównych gałęzi przemysłu. Dotyczy ona ilościowego podejścia do szacowania poziomu ryzyka (zagrożeń) typowych aparatów stosowanych w przemyśle do przetwarzania substancji sypkich, które zawierają pyły palne i wybuchowe. Nowatorskie w metodyce AW-OZ jest to, że proces oceny można uniezależnić od wiedzy i doświadczenia osoby, która go przeprowadza, w przeciwieństwie do powszechnie stosowanej metody PHA (Preliminary Hazard Analysis). To pozwala zminimalizować lub wręcz wyeliminować subiektywne, błędne wnioski i uniknąć poważnych konsekwencji dla ludzi i majątku firmy. Podstawą oceny w metodzie AW-OZ jest konstrukcja, warunki pracy aparatów i obecność palnych i wybuchowych pyłów. Dzięki temu w kolejnych krokach można bardziej precyzyjnie określić poziom ryzyka wybuchu. Jednocześnie metodyka AW-OZ uwzględnia wykorzystanie standardowego podejścia jakościowego do szacowania prawdopodobieństwa (częstotliwości) uaktywnienia się źródeł zapłonu oraz możliwych skutków wybuchu, zapewniając pełną zgodność procesu oceny z Dyrektywą ATEX User (1999/92/WE), [2]. Metodyka AW-OZ została wykorzystana w autorskiej aplikacji webowej, AW-OZ, do użytku przez ubezpieczycieli, firmy projektowe, przedsiębiorstwa realizujące węzły procesowe i instalacje przemysłowe „pod klucz” oraz firmy, które w swoich zakładach wytwarzają produkty bazujące na organicznych substancjach sypkich.

Słowa kluczowe: *metodyka AW-OZ, szacowanie zagrożeń, ocena ryzyka wybuchu, bezpieczeństwo procesowe, przetwarzanie substancji sypkich*

Abstract

The AW-OZ methodology is the result of many years of work in the field of explosion and process safety, as well as hundreds of explosion risk assessments carried out for process installations in most major industries. It concerns a quantitative approach to estimating the level of risk (hazards) of typical equipment used in industry for processing bulk materials that contain flammable and explosive dusts. What is innovative in the AW-OZ methodology is that the assessment process can be made independent of the knowledge and experience of the person performing it, in contrast to the commonly used PHA (Preliminary Hazard Analysis) method. This allows to minimize or even eliminate subjective, erroneous conclusions and avoid serious consequences for people and company property. The basis of the assessment in the AW-OZ method is the design, operating conditions of the equipment and the presence of flammable and explosive dusts. Thanks to this, in the next steps, the level of explosion risk can be determined more precisely. At the same time, the AW-OZ methodology takes into account the use of a standard qualitative approach to estimating the probability (frequency) of ignition sources being activated and the possible effects of an explosion, ensuring full compliance of the assessment process with the ATEX User Directive (1999/92/EC), [2]. The AW-OZ methodology has been used in the proprietary web application, AW-OZ, for use by insurers, design companies, companies implementing process units and industrial installations „turnkey” and companies that produce products based on organic bulk materials in their plants.

Keywords: *AW-OZ methodology, hazard assessment, explosion risk assessment, process safety, bulk material processing*

Ocena zagrożeń dla węzłów procesowych jest skomplikowana ze względu na dużą różnorodność rozwiązań technicznych stosowanych w przemyśle. Dyrektywa unijna 1999/92/WE, znana powszechnie pod nazwą ATEX User, określa zasady przeprowadzania takiej oceny, aby właściciel zakładu uzyskał pełny i realistyczny obraz ryzyka wybuchowego i mógł wdrożyć odpowiednie zabezpieczenia.

Jednak dotychczasowa metodyka przeprowadzenia oceny zagrożeń w zgodzie z Dyrektywą ATEX User bazuje w znacznym stopniu na subiektywnej ocenie zagrożeń. Może to prowadzić do błędów, co z kolei może mieć tragiczne skutki dla życia ludzkiego i mienia.

Dlatego w wyniku wieloletniej pracy w obszarze zapewnienia bezpieczeństwa wybuchowego i procesowego oraz licznych ocen ryzyka wybuchu przeprowadzonych dla instalacji procesowych w różnorodnych gałęziach przemysłu stwierdzono, że istnieje potrzeba opracowania nowego podejścia do oceny ryzyka/zagrożeń. Owo nowe podejście, AW-OZ, oparto w pierwszej kolejności na danych procesowych, aby ograniczyć rolę subiektywnej oceny zagrożeń, która charakteryzuje powszechnie stosowaną metodę wstępnej oceny ryzyka PHA (Preliminary Hazard Analysis).

Metodyka szacowania zagrożeń AW-OZ na tle dyrektywy ATEX User

Metodyka ilościowej oceny zagrożeń AW-OZ jest przeznaczona do analizy procesów przetwarzania substancji sypkich zawierających pyły o właściwościach palnych i wybuchowych. Do oceny poziomu zagrożenia wykorzystuje procesowe czynniki ryzyka, które obejmują palne własności pyłów przetwarzanych substancji sypkich, podstawowe elementy konstrukcji aparatów oraz warunki ich pracy.

Tym samym spełnia zapisy zawarte w paragrafie 4 Dyrektywy ATEX User [2], które dotyczą sposobu prowadzenia oceny ryzyka wybuchu. Zgodnie z Dyrektywą, zakres oceny ryzyka wybuchu ma obejmować eksploatowane przez pracodawcę instalacje, używane substancje i mieszaniny, zachodzące procesy i ich wzajemne oddziaływania.

Natomiast pozostałe zapisy paragrafu 4 Dyrektywy, które obejmują szacowanie:

- prawdopodobieństwa i częstotliwości występowania atmosfery wybuchowej;
- prawdopodobieństwa wystąpienia oraz uaktywnienia się źródeł zapłonu, w tym wyladowań elektrostatycznych;
- rozmiarów przewidywanych skutków wybuchu

są definiowane w kolejnym kroku procedury szacowania poziomu zagrożeń. Metodyka AW-OZ oferuje ponadto rekomendacje jakościowe w zakresie ochrony procesowej i wybuchowej dostosowanej do danego aparatu procesowego i wyznaczonego poziomu zagrożenia. Elementy tego podejścia przedstawiono w [12].

Metodyka oceny zagrożeń AW-OZ na tle standardowego podejścia do oceny ryzyka wybuchu

Standardowe techniki oceny ryzyka wybuchu kładą nacisk na ocenę prawdopodobieństwa pojawienia się atmosfery wybuchowej, zapobieganie wystąpieniu jej zapłonu oraz na szacowanie możliwych skutków wybuchu. Podstawowym celem oceny zagrożeń AW-OZ jest natomiast ilościowe oszacowanie poziomu zagrożeń procesowych i wybuchowych wynikających z konstrukcji ocenianego aparatu, parametrów fizykochemicznych obecnych w nim pyłów oraz warunków pracy.

W typowym podejściu identyfikuje się miejsca występowania zagrożeń, a następnie szacuje się w tych obszarach ryzyko **R** [11]. Wynika ono z przyjętych wartości **P** i **S** i jest określane z równania:

$$R = P \times S$$

gdzie:

P – częstotliwość wystąpienia strefy zagrożenia wybuchem/efektywnego źródła zapłonu – w konsekwencji prawdopodobieństwo wybuchu,
S – skutki, jakie mogą wystąpić, gdy dojdzie do wybuchu.

Należy mieć na uwadze, że wartości P i S są określane arbitralnie, ponieważ oceniający bazuje na swoim doświadczeniu i subiektywnej ocenie sytuacji oraz danych historycznych (gdy są dostępne). Tym samym ocena może nie prowadzić do poprawnych wniosków.

Natomiast metodyka AW-OZ umożliwia ilościowe określenie poziomu zagrożenia ocenianych aparatów. Stanowi to podstawę, w kolejnym etapie metodyki, do zaproponowania jakościowych rozwiązań w celu ograniczenia źródeł zapłonu (gdy to jest technicznie możliwe), które mogłyby prowadzić do pożaru/wybuchu oraz możliwych systemów ochrony aparatu przed skutkami wybuchu. Dopiero w etapie końcowym szacuje się prawdopodobieństwo zapłonu i możliwe skutki wybuchu w sposób standardowy, zgodny z [2].

Następnie, w ramach metody AW-OZ proponuje się rekomendacje, które mają na celu poprawę bezpieczeństwa procesowego i wybuchowego. Są one dostosowane do typu ocenianego aparatu oraz wyznaczonego poziomu zagrożenia. Procedura taka zapewnia niezależną ocenę zarówno pracujących, jak i projektowanych aparatów procesowych. W każdym przypadku zakłada się, że aparat jest poprawnie uziemiony. Ocena zagrożeń nie ma zastosowania do mieszanin hybrydowych, gazów i par cieczy palnych.

Tym samym podejście AW-OZ pozwala ilościowo ocenić poziom zagrożenia/ryzyka związanego z pracą aparatów oraz spełnić wymagania Dyrektywy ATEX w zakresie oceny ryzyka wybuchu. Oparcie się na rzeczywistych, wiarygodnych danych procesowych ogranicza ryzyko podjęcia błędnych decyzji, co jest zasadniczą zaletą metodyki AW-OZ.

1. Metodyka AW-OZ

1.1. Aparaty i operacje jednostkowe brane pod uwagę

W dostępnej literaturze przedmiotu nie ma wiarygodnych danych statystycznych, gromadzonych na przestrzeni lat, dotyczących wybuchów pyłów. Pierwsze istotne próby ujęcia statystycznego zdarzeń wybuchowych (odniesione do różnych aparatów i gałęzi przemysłu) są prezentowane od kilku lat w dorocznych raportach Dust Safety Science, [1]. Zasadność prowadzenia tego typu informacji była rekomendowana w [12].

Na bazie [1] oraz wiedzy i doświadczenia autorów przyjęto zestawienie, które podaje w procentach szacunkowy udział typowych operacji jednostkowych jako miejsca, gdzie może dojść do zapłonu i wybuchu/pożaru (Tab. 1).

Tabela 1. Szacunkowy procentowy udział typowych operacji jednostkowych oraz odpowiadających im aparatom, gdzie może dojść do zapłonu i wybuchu/pożaru.

Table 1. Estimated percentage share of typical unit operations and their corresponding apparatus where ignition and explosion/fire may occur

PROCES	PRZYKŁAD APARATU	UDZIAŁ (%)
MAGAZYNOWANIE	silos, zbiornik	20-30
ODPYLANIE	filtr, cyklon	15-20
MIELENIE	młyn	10-15
TRANSPORT	podnośnik, przenośnik	10-12
SUSZENIE	suszarnia	8-10
MIESZANIE	mieszalnik	5-8
DOPALANIE	instalacja dopalania	~5

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Z powyższego zestawienia wynika, że zagrożenia wybuchowe są w głównym stopniu związane z procesami magazynowania, odpylania, transportu mechanicznego (podajniki kubelkowe). Można szacować, że ponad 50% wybuchów w przemyśle ma swój początek w tego typu operacjach. A uwzględniając operacje mielenia, suszenia i mieszania udział ten przekracza 70%. Jest jednak jasne, że te szacunkowe wartości są różne w zależności od rodzaju przemysłu i technologii przetwarzania materiałów sypkich.

Na bazie powyższych danych przyjęto, że metodyka oceny AW-OZ będzie uwzględniać w pierwszej kolejności następujące urządzenia i aparaty przeznaczone do przetwarzania materiałów sypkich:

- silosy magazynowe;
- pośrednie zbiorniki magazynowe;
- filtry, cyklony;
- podnośniki kubelkowe;
- podajniki ślimakowe, podajniki zgrzeblowe,
- rurociągi/kanaly;
- zamknięte przesypy.

Dla potrzeb metodyki AW-OZ przyjęto podział tych aparatów na dwie grupy:

- aparaty grupy R, które cechuje wyższy poziom zagrożenia: silosy magazynowe, pośrednie zbiorniki magazynowe, podajniki kubelkowe, filtry;
- aparaty grupy RR, z niższym poziomem zagrożenia: cyklony, podajniki ślimakowe, podajniki zgrzeblowe, rurociągi i kanaly, przesypy pomiędzy aparatami.

Każdemu z aparatów grupy R lub RR przypisano indywidualną listę procesowych czynników ryzyka, które charakteryzują warunki jego pracy. Każdy z tych czynników ma przypisane określone wartości współczynników ryzyka, co umożliwia wyznaczenie ryzyka sumarycznego dla każdego z aparatów.

W zależności od wartości tego ryzyka aparaty z grupy R są klasyfikowane do obszarów zagrożenia bardzo wysokiego (R4), wysokiego (R3), umiarkowanego (R2) i niskiego (R1). Z kolei aparaty z grupy RR są klasyfikowane do obszarów zagrożenia wysokiego (RR4), umiarkowanego (RR3), niskiego (RR2) i bardzo niskiego (RR1).

1.2. Procesowe czynniki ryzyka

Metodyka oceny zagrożeń procesowych AW-OZ bierze pod uwagę indywidualne czynniki ryzyka związane z warunkami pracy aparatów. **Przy doborze czynników ryzyka brano pod uwagę ich istotność dla pracy danego aparatu oraz ich relatywnie łatwą dostępność. Możliwe zakłócenia** normalnych warunków pracy, np. zmiany obciążenia, praca ze zmieniającą się wydajnością czy usterki eksploatacyjne nie są brane pod uwagę. Zestawienie procesowych czynników ryzyka dla aparatów grupy R i RR znajduje się poniżej:

1. Palne własności pyłów:
 - minimalna energia zapłonu MEZ [mJ];
 - dolna granica wybuchowości DGW [g/m³].
2. Konstrukcja aparatów:
 - objętość V [m³];
 - długość/wysokość aparatu [m];
 - długość/wysokość podajnika [m];
 - długość rurociągu [m];
 - długość przesypu L [m];
 - średnica rurociągu (kanału) D [m];
 - wysokość komory odpylania filtra WKO [m];
 - smukłość aparatu (silos, podajnik kubelkowy) S [-].
3. Warunki pracy aparatów:
 - ochrona materiału przed zasypem do aparatu (separator magnetyczny) OM;
 - odpylanie aparatu OA (lub brak);
 - ruch materiału w aparacie (laminarny, burzliwy) RM;
 - typ pracy aparatu (praca okresowa, praca ciągła) TPA;
 - kontrola temperatury łożysk KT (lub brak);
 - prędkość liniowa wstęgi podajnika ślimakowego PLW [m/s];
 - tryb pracy filtra (nadciśnienie, podciśnienie) TPF;
 - zasuwa odcinająca na zasypie do aparatu ZO (lub brak);
 - zawór dozujący na wysypie z aparatu ZD;
 - zasypu silosu magazynowego (grawitacyjny, podajnik dozujący) RZ;
 - kontrola i gaszenie iskier przed zasypem do aparatu KI (lub brak).

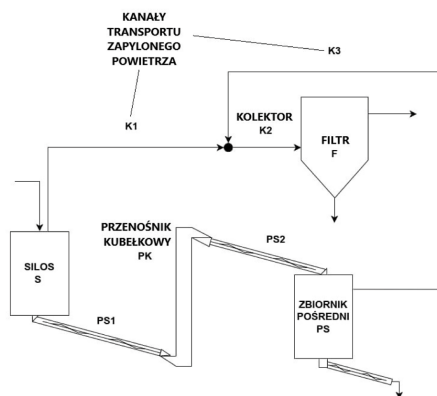
Wielkości MEZ i DGW oraz objętość aparatu V zostały wykorzystane w opisie każdego z aparatów. Pojęcia związane z konstrukcją aparatu oraz warunkami pracy wykorzystano indywidualnie, zależnie od tego, który z czynników uznano za istotny. Dobór czynników został oparty o wiedzę procesową i doświadczenia przemysłowe.

2. Przykład oceny zagrożeń dla aparatów (wersja 1)

Rysunek 1 obejmuje silos magazynowy S, pośredni zbiornik magazynowy PS, podajnik kubelkowy PK, filtr F, dwa podajniki ślimakowe PS1 i PS2, kanały zapyłonego powietrza K1 i K3 oraz kolektor zbiorczy przed filtrem K2. Ocena nie obejmuje zasypu do silosu S, wysypu z filtra F i wysypu ze zbiornika pośredniego PS.

W instalacji przetwarzany jest surowiec sypki zawierający pyły o niskiej wartości minimalnej energii zapłonu MEZ na poziomie 5 mJ i niskiej dolnej granicy wybuchowości DGW na poziomie 30 g/m³. Skutkiem tego magazynowany i transportowany surowiec sypki jest podatny na potencjalnie możliwe źródła zapłonu.

Wersja 1 oceny, oparta o rysunek 1, dotyczy instalacji o zdolności produkcyjnej rzędu kilku ton/godzinę. Ma to swoje odbicie w wymiarach konstrukcyjnych aparatów. Zestawienie danych procesowych (czynniki ryzyka) oraz wyznaczone poziomy ryzyka podano w Tabelach 1-A i 1-B. Tabela 1-A dotyczy aparatów z grupy R, a 1-B aparatów z grupy RR.



Rys. 1. Instalacja magazynowania i transportu surowca zawierającego palny i wybuchowy pył

Fig. 1. Storage and transport installation for raw material containing flammable and explosive dust

2.1. Aparaty należące do grupy wyższego ryzyka (R4, R3, R2, R1).

Dotyczy aparatów: S, PS, PK i F. Z przeprowadzonej oceny zagrożeń AW-OZ wynika, że silos S oraz podajnik kubelkowy PK zostały zaliczone do grupy R4 (bardzo wysokiego ryzyka), a pośredni zbiornik magazynowy PS oraz filtr odpylający F do grupy R3 (ryzyko wysokie). Oznacza to, że te aparaty, w każdym przypadku, powinny zostać zabezpieczone przed skutkami wybuchu. Rekomendacje wstępne uzyskane na podstawie oprogramowania AW-OZ [3] zestawiono poniżej. Przyjęte dane konstrukcyjne i procesowe aparatów podano w Tabeli 1-A.

Zabezpieczenie silosu S (grupa ryzyka R4) zależeć będzie od jego lokalizacji: wewnątrz lub na zewnątrz pomieszczeń/budynków produkcyjnych. W przypadku instalacji wewnątrz blisko ściany możliwe będzie zabudowanie

panelu odciażającego z kanałem odprowadzającym skutki wybuchu przez ścianę poza pomieszczenie. Dobór powierzchni odciażania oraz konstrukcja kanału muszą być zgodne z wymaganiami normy [6]. Wylot kanału dociażającego musi być skierowany w obszar bezpieczny oddalony od innych instalacji czy urządzeń procesowych oraz szlaków komunikacyjnych. Alternatywnie należy rozważyć zastosowanie bezpłomieniowego odciażenia wybuchu, uwzględniając ograniczenia w stosowaniu tego typu rozwiązania [8]. Gdy nie można spełnić warunków dotyczących odciażenia wybuchu, właściwym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu tłumienia wybuchu HRD [5]. System ten nie jest ograniczony lokalizacją aparatu. Ponadto rozwiązanie to jest bezpieczne dla pracujących ludzi, sąsiednich urządzeń oraz środowiska. W ramach izolacji wybuchu rekomenduje się zastosowanie na wysypie z silosu certyfikowanego podajnika dozującego.

Zabezpieczenie **zbiornika pośredniego PS** (grupa ryzyka R3) także zależeć będzie od jego lokalizacji, która wynika z przebiegu ciągu technologicznego. Zasadniczo można przyjąć, że w zdecydowanej większości przypadków zostanie on zabudowany w hali i niekoniecznie blisko ściany. W takim przypadku nie będzie możliwa zabudowa paneli odciażających. Właściwym zabezpieczeniem będzie natomiast zastosowanie bezpłomieniowego odciażenia wybuchu lub alternatywnie systemu tłumienia wybuchu HRD co jest rekomendowanym rozwiązaniem.

Zabezpieczenie **podajnika PK** (grupa ryzyka R4) przed skutkami wybuchu zależeć będzie w zasadniczym stopniu od jego lokalizacji. W przypadku zabudowy w hali zasadniczo nie będzie możliwa zabudowa paneli odciażających bez spełnienia warunków wynikających z normy [6]. W przypadku zabudowy kanałów odciażających ich wylot musi być skierowany w obszar bezpieczny (brak drogi czy chodnika w pobliżu, brak zabudowy innych aparatów). Skutkiem powyższych ograniczeń rekomendowanym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu tłumienia wybuchu bazującego na butlach HRD, [5]. Rozwiązanie takie uniezależnia bezpieczeństwo pracy i bezpieczeństwo wybuchowe aparatu od jego lokalizacji. Alternatywą jest zabudowa bezpłomieniowego odciażenia wybuchu, przy spełnieniu ograniczeń wynikających z [8].

Zabezpieczenie **filtra F** (grupa ryzyka R3) przed skutkami wybuchu zależeć będzie od jego lokalizacji. W przypadku zabudowy w hali zasadniczo nie będzie możliwa zabudowa paneli odciażających z powodów określonych wyżej. Wyjątkiem jest zabudowa filtra blisko ściany hali i zastosowaniu kanału odprowadzającego skutki wybuchu na zewnątrz budynku. Wylot kanału dociażającego musi być tak jak w innych przypadkach skierowany w obszar bezpieczny. Alternatywne należy rozważyć zastosowanie bezpłomieniowego odciażenia wybuchu. Gdy nie jest to możliwe do zastosowania to właściwym rozwiązaniem będzie zastosowanie systemu tłumienia wybuchu HRD. Rozwiązanie takie uniezależnia bezpieczeństwo pracy filtra od jego lokalizacji. Na wysypie z filtra jako izolacja wybuchu rekomendowane jest zastosowanie certyfikowanego zgodnie z ATEX podajnika dozującego.

2.2. Aparaty należące do grupy niższego ryzyka (RR4, RR3, RR2, RR1)

Do grupy aparatów niższego ryzyka zaliczono podajniki ślimakowe PS1 i PS2 oraz rurociągi zanieczyszczonego powietrza K1, K3 i kolektor K2 przed filtrem (rysunek 1). Analiza wykazała, że wszystkie mieszczą się w zakresie ryzyka RR3 (ryzyko umiarkowane). Rekomendacje wstępne uzyskane na podstawie oprogramowania AW-OZ [3] zestawiono poniżej. Przyjęte dane konstrukcyjne i procesowe aparatów podano w Tabeli 1-B.

Podajniki ślimakowe PS1 i PS2 (o takiej samej konstrukcji) zostały zaliczone do grupy ryzyka RR3. Kwalifikacja aparatów do grupy RR3 oznacza, że zasadniczo nie wymagają one, jako urządzenia transportujące, zabezpieczenia ich przestrzeni roboczej przed skutkami wybuchu. Natomiast wskutek zagrożenia przeniesienia się wybuchu z silosu S lub pośredniego zbiornika magazynowego PS, poprzez zabudowane na ich wysypach podajniki PS1 i PS2, w kierunku do podajnika kubelkowego PK i analogicznie z podajnika kubelkowego PK poprzez zasyp w kierunku do silosu S (PS1) lub poprzez wysyp w kierunku do zbiornika pośredniego PS (PS2), konieczna jest zabudowa odcięcia (izolacji) wybuchu na tej linii. Jest to uzasadnione faktem, że silos S i pośredni zbiornik magazynowy PS oraz podajnik PK zostały zaliczone do grupy bardzo wysokiego (R4) lub wysokiego ryzyka (R3) i wybuch w tych aparatach jest prawdopodobny.

Kanały K1, K3 i kolektor K2 zapyłonego powietrza z silosu S i zbiornika PS do filtra F, zostały zaliczone do grupy umiarkowanego ryzyka RR3. Oznacza to, że zasadniczo nie wymagają one, jako urządzenia transportujące, zabezpieczenia ich przestrzeni roboczej przed skutkami wybuchu. Natomiast wskutek zagrożenia przeniesienia się wybuchu z silosu S lub pośredniego zbiornika magazynowego PS, poprzez rurociągi zapyłonego powietrza K1 i K3 i dalej kolektor zbiorczy K2 do filtra F i analogicznie z filtra F poprzez kolektor K2, kanały K1 i K3 w kierunku do silosu S lub zbiornika pośredniego PS konieczna jest zabudowa dedykowanego systemu odcięcia (izolacji) wybuchu. Jest to uzasadnione faktem, że filtr F został zaliczony do grupy wysokiego poziomu ryzyka (R3). Miejsce zabudowy systemu odcięcia wybuchu zależeć będzie, między innymi, od średnicy i długości kanału, jak i sposobu zabezpieczenia podstawowych aparatów w ciągu technologicznym.

2.3. Zasypy/wysypy z aparatów

Zagadnieniem wymagającym oceny pod kątem zastosowania systemu ochrony przed skutkami przeniesienia się wybuchu są także wysypy z silosu S, podajnika kubelkowego PK, pośredniego zbiornika PS i filtra F (rysunek 1). W przypadku silosu S, zbiornika pośredniego PS i podajnika kubelkowego PK rekomendowane zastosowanie systemu izolacji wybuchu na wysypach podano wyżej. Natomiast na wysypie z filtra F rekomendowane jest, w pierwszym rzędzie, zastosowanie zaworu dozującego przystosowanego do pracy w strefie zagrożenia i z potwierdzoną certyfikatem funkcją izolacji wybuchu. Na zasypie surowca do silosu S możliwości techniczne podawania surowca są różne (np. autocysterna, worki big-bag). Ten element instalacji nie wchodzi w zakres oceny zagrożeń.

2.4. Wykorzystanie wyników oceny zagrożeń AW-OZ dla potrzeb projektowania dedykowanego systemu ochrony przed wybuchem

Przedstawione wyniki oceny zagrożeń związanych z pracą analizowanych aparatów mają charakter rekomendacji. Wnioski z oceny stanowią podstawę do konsultacji ze specjalistyczną firmą zajmującą się projektowaniem, instalacją i uruchomieniem dedykowanych systemów ochronnych zgodnych z normami i przyjętymi standardami przemysłowymi. Zaproponowanie systemów ochrony procesowej i wybuchowej zgodnych z zapisami dyrektyw ATEX User i ATEX 114 [2, 9] wymaga posiadania rysunków konstrukcyjnych aparatów oraz rzutów przebiegu instalacji. Istotnym warunkiem zaprojektowania poprawnego systemu zabezpieczeń są ponadto informacje o wartościach parametrów wybuchowości pyłu (stałej wybuchowości K_{st} i ciśnienia wybuchu P_{max}) oraz wytrzymałości konstrukcyjnej aparatu na uderzenie zredukowanego ciśnienia wybuchu $P_{red,max}$. W przypadku, gdy instalacja jest w fazie projektowania, dokumentacja taka powinna być standardowo dostępna na etapie przygotowania projektu technicznego.

3. Możliwości oceny zagrożeń dla potrzeb projektowania instalacji (wersja 2 oceny)

Jedną z możliwości, którą oferuje ocena zagrożeń AW-OZ jest ułatwianie podjęcia decyzji o skali planowanej produkcji (pod warunkiem wykorzystania metodyki na etapie projektowania nowej instalacji). Dotyczy to sytuacji, gdy brakuje dostatecznych informacji od producenta i/lub inwestor musi się liczyć z kosztami budowy. Dzięki AW-OZ inwestor może zdecydować czy budować instalację w skali docelowej zdolności produkcyjnej czy raczej w pierwszym etapie zdecydować się na mniejszą skalę, a kolejną linię zwiększającą moce produkcyjne do pełnej wielkości dopiero, gdy rynek okaże się odpowiednio chłonny. Aby móc trafnie podjąć taką decyzję, należy m.in. oszacować zagrożenia procesowe i wybuchowe związane z produkcją i wynikające z tego koszty zabezpieczenia instalacji przed skutkami wybuchu/pożaru zarówno w skali docelowej, jak i w skali mniejszej.

Wersja 2 oceny, bazująca na rysunku 1, dotyczy instalacji o zdolności produkcyjnej rzędu jednej ton/godzinę. Ma to swoje odbicie w mniejszych podstawowych wymiarach aparatów. Stosowany jest surowiec o wyższej wartości MEZ i DGW pyłu, a więc mniej podatny na możliwe źródła zapłonu (w analizowanym przykładzie brana jest pod uwagę możliwość wykorzystania innego surowca, stwarzającego mniejsze zagrożenia procesowe i wybuchowe).

Zestawienie przyjętych danych procesowych (czynników ryzyka) oraz wyznaczone poziomy ryzyka podano w Tabelach 2-A i 2-B. Podstawowe różnice wersji 1 i 2 oceny zagrożeń (opartej o ten sam schemat technologiczny) dotyczą więc przetwarzania surowców charakteryzujących się istotnie innymi parametrami MEZ i DGW oraz różnymi wymiarami konstrukcyjnymi aparatów. Zasadnicze warunki pracy aparatów są w obu przypadkach zbliżone.

3.1. Aparaty należące do grupy wyższego ryzyka (R4, R3, R2, R1)

Ocenie poddano następujące aparaty: S, PS, PK i F. Z przeprowadzonej oceny zagrożeń AW-OZ wynika, że w nowych warunkach zostały one zaliczone do grupy R2 (umiarkowanego ryzyka). Taka klasyfikacja wynika z ogólnej, znanej w przemyśle zależności, że mniejsza skala produkcji pociąga za sobą mniejsze rozmiary konstrukcyjne aparatów, a co za tym idzie – przetwarzanie materiału w takiej ilości, która stwarza mniejsze zagrożenie zapłonem. Sumarycznie prowadzi do obniżenia poziomu ryzyka. Zaletą metodyki AW-OZ jest potwierdzenie tej znanej (z praktyki przemysłowej) zależności w sposób ilościowy.

W obszarze **umiarkowanego zagrożenia R2** należy przede wszystkim brać pod uwagę konieczność zapewnienia bezpieczeństwa procesowego na bazie rozwiązań technicznych ograniczających obecność potencjalnych źródeł zapłonu. Dotyczy to zarówno warunków normalnej pracy aparatu, jak i zatrzymania oraz rozruchu, po okresowym zatrzymaniu. Decyzja o ochronie aparatów przed skutkami wybuchu wraz z układami powiązanymi (zasyp, wysyp) powinna wynikać z analizy możliwych źródeł zapłonu. Jako istotne kryterium końcowej decyzji należy także wziąć pod uwagę wartość minimalnej energii zapłonu pyłu MEZ oraz wysokość/smukłość aparatu. Dalsza analiza, uwzględniająca lokalizację i powiązania aparatów w ciągu technologicznym, potencjalne zagrożenia dla otoczenia (skala możliwych skutków) czy oszacowanie kosztów możliwych do zastosowania zabezpieczeń przed skutkami wybuchu powinny dać podstawy decyzji o wyborze odpowiedniej drogi.

W analizowanej sytuacji technologicznej przyjęcie do oceny wartości MEZ=120 mJ nie eliminuje zagrożeń spowodowanych elektrycznością statyczną. Zgodnie bowiem z punktem 2.1. a normy [4] elektryczność statyczna (i wynikające z niej zagrożenia) powinny być brane pod uwagę, gdy w układzie mamy do czynienia z mediami wybuchowymi o wartości MEZ do 500 mJ. Niezależnie, pogłębionej analizie należy poddać zagrożenie wynikające z możliwości przeniesienia się wybuchu z aparatu, w stosunku do którego podjęto decyzję o konieczności zabezpieczenia przed wybuchem, poprzez zasyp/wysyp i odpylanie (gdy jest obecne). W takim przypadku konieczność zastosowania odcięcia wybuchu [7] jest w dużym stopniu niezależna od oszacowanego poziomu zagrożenia aparatu, na którym ma być zabudowany system. W analizowanym schemacie (rysunek 1) dotyczy to podajników ślimakowych PS1, PS2 i kanałów transportu zapyłonego powietrza K1 do K3 do filtra F.

3.2. Aparaty należące do grupy niższego ryzyka (RR4, RR3, RR2, RR1)

Ocenie poddano podajniki PS1, PS2 oraz kanały K1, K2 i K3. Z przeprowadzonej oceny wynika, że zostały one zaliczone do grupy niskiego RR2 lub bardzo niskiego ryzyka RR1. Przetwarzany surowiec oraz warunki pracy aparatów są analogiczne jak dla aparatów wyższego poziomu ryzyka.

Do grupy RR2 zaliczono kanały odpylonego powietrza K1 i K3. Natomiast podajniki ślimakowe PS1 i PS2 oraz kolektor zbiorczy K2 zaliczono do grupy RR1. Urządzenia te, skutkiem swojej konstrukcji i warunków pracy, cechu-

je w zadanych warunkach niski/bardzo niski poziom zagrożenia. Wynika to w dużym stopniu z większej wartości MEZ pyłu, dużej wartości DGW pyłu oraz mniejszych wymiarów (małej długości L i średnicy D), a w przypadku podajników PS1 i PS2 także z niskiej prędkości liniowej wstęgi ślimaków, $PLW < 1$ m/s. Ponadto aparaty te zostały wyposażone w środki ochrony procesowej ograniczającej obecność źródeł zapłonu. Ponieważ aparaty te zaliczają się do grup ryzyka RR2 i RR1, zastosowanie systemu ochrony ich przestrzeni procesowej przed skutkami wybuchu nie jest konieczne.

4. Przykład oceny możliwości zabudowy systemu ochrony przed przeniesieniem się wybuchu

Z przeprowadzonej analizy (punkt 3.) wynika brak konieczności ochrony przestrzeni roboczej podajników i kanałów przed zapłonem i wybuchem, w tych przypadkach, gdy zostaną one zaliczone do grupy zagrożenia RR2 i RR1 (Tabela 2-B). Nie wyklucza to jednak konieczności zabudowy systemu izolacji wybuchu, gdy sąsiednie urządzenia na zasypie/wysypie zostały zaliczone do grupy zagrożenia R4 lub R3 lub przeanalizowania takiej konieczności w przypadku urządzenia z grupy ryzyka R2.

4.1. Kolektor zapyłonego powietrza K2 przed filtrem F

Ocenie poddano możliwość techniczną zabudowy systemu izolacji wybuchu na kolektorze K2 przed filtrem F (rysunek 1). Ma to na celu ochronę przed przeniesieniem się wybuchu, do którego może dojść w filtrze F, kolektorem K2 w stronę kanałów K1 i K3.

W wersji 1 oceny zagrożeń filtr został zakwalifikowany do grupy wysokiego ryzyka R3. Oznacza to konieczność zabezpieczenia filtra przed wybuchem i zabudowy izolacji wybuchu na kolektorze K2. Z danych zawartych w Tabeli 1-B wynika, że długość kolektora K2 wynosi 5,5 m. Jest to długość dostateczna do zabudowy systemu izolacji wybuchu opartego na butlach HRD lub kłapy zwrotnej [10]. Zapewnienie bezpieczeństwa wybuchowego instalacji w przypadku wybuchu w filtrze jest uzależnione od spełnienia następujących dodatkowych warunków:

- filtr zostanie zabezpieczony przed wybuchem (butle HRD, bezpłomienne odciążenie wybuchu lub panele odciążające, zależnie od jego lokalizacji i konstrukcji);
- kolektor K2 posiada odporność na maksymalne zredukowane ciśnienie wybuchu co najmniej równą 0,5 barg (klapa zwrotna, zależnie od średnicy kolektora) lub 1-2 barg (butle HRD).

W wersji 2 oceny zagrożeń filtr został zakwalifikowany do grupy umiarkowanego ryzyka R2, Tabela 2-A. Dla potrzeb pokazania metodyki postępowania podjęto decyzję o konieczności zabudowy na filtrze systemu odciążania lub tłumienia wybuchu. Tym samym zasadna jest zabudowa izolacji wybuchu na kolektorze K2 z powodów pokazanych wyżej. W tym przypadku długość kolektora K2 jest zbyt krótka dla potrzeb zabudowy systemu izolacji wybuchu (wynosi 1,5 m), ponieważ systemy izolacji wybuchu (butle HRD lub klapy zwrotne)

mają pod tym względem określone wymogi techniczne, [7]. Zabudowa klapy zwrotnej lub butli HRD zasadniczo wymaga co najmniej 2m odcinka prostego rurociągu przed filtrem. Odległość ta jest zależna od średnicy rurociągu, parametrów palności i wybuchowości obecnych w instalacji pyłów (K_{st} , P_{max}) oraz odporności na uderzenie zredukowanego ciśnienia wybuchu $P_{red, max}$.

Zbyt krótki odcinek prostego rurociągu przed wlotem do filtra dla potrzeb zabudowy systemu izolacji wybuchu jest sytuacją stosunkowo często spotykaną w przemyśle.

4.2. Wykorzystanie oceny zagrożeń AW-OZ na etapie tworzenia koncepcji technologicznej

Przykład podany powyżej ilustruje kolejne istotne zagadnienie związane z projektowaniem instalacji przetwarzających substancje sypkie zawierające pyły palne i wybuchowe. Sprowadza się to do pytania: czy na etapie tworzenia koncepcji technologicznej (gdy są dostępne podstawowe wymiary aparatów) można już brać pod uwagę wymogi techniczne związane z potencjalną zabudową systemów ochrony przed przenoszeniem się wybuchu z aparatu, na którym doszło do wybuchu, na urządzenia sąsiadujące.

Uwzględnienie tych wymogów może mieć wpływ na podstawowe wymiary (długość, średnica) aparatów transportujących, takich jak podajniki ślimakowe, podajniki zgrzeblowe, rurociągi/kanały czy zabudowane przesypy. Decyzja o zastosowaniu izolacji wybuchu będzie jednak w mniejszym stopniu zależna od zakwalifikowania aparatu do określonego poziomu zagrożenia (RR3 lub RR2 lub RR1), a w stopniu zasadniczym od wyznaczonej wartości zagrożenia (R4, R3, warunkowo R2) aparatów sąsiednich na zasypie/wysypie.

Wersja 2 obliczeń dla rysunku 1 ilustruje skutki przyjęcia zbyt krótkiego kolektora zbiorczego zapyłonego powietrza K2 na wlocie do filtra F. W tych warunkach kolektor K2 zapewniający doprowadzenie zapyłonego powietrza do filtra F został zaliczony do grupy bardzo niskiego ryzyka RR1, a filtr do grupy umiarkowanego ryzyka R2. W wyniku dodatkowej analizy podjęto decyzję o konieczności zabezpieczenia filtra F przed wybuchem. W takiej sytuacji kolektor K2 powinien zapewnić możliwość zabudowy systemu izolacji wybuchu z przyczyn podanych wyżej. Przyjęto zwiększenie długości kolektora K2 do 4 m. Skutki takiej decyzji pokazano w ostatnim wierszu Tabeli 2-B. Poziom zagrożenia kolektora K2 (A) uległ co prawda zwiększeniu do niskiego ryzyka RR2, ale taka konstrukcja umożliwia zabudowę systemu odcięcia wybuchu i tym samym ochronę ciągu technologicznego.

Rozwiązanie tego cząstkowego problemu już na etapie koncepcji technologicznej umożliwi zaprojektowanie w etapie kolejnym takiej długości kolektora, która zapewni pełną ochronę instalacji przed skutkami wybuchu w filtrze.

5. Rozwój metodyki oceny zagrożeń AW-OZ

Dalsze plany pracy nad metodyką AW-OZ obejmują jej rozbudowanie dla potrzeb przeprowadzenia oceny zagrożeń i oceny ryzyka wybuchu przy operacjach jednostkowych mielenia/kruszenia (młyny/kruszarki) i mieszania (mieszalniki

pracujące w trybie ciągłym i okresowym). Jest to stosunkowo skomplikowane zadanie ze względu na różnorodność możliwych rozwiązań technicznych tego typu aparatów procesowych. Ocenia się, że opracowane arkusze obliczeniowe oceny zagrożeń AW-OZ umożliwią analizę co najmniej 70% typowych aparatów stosowanych w przeróbce materiałów sypkich.

Planowane są również prace związane z opracowaniem metodyki oceny zagrożeń dostosowanej do analizy węzłów procesowych i instalacji już na etapie koncepcji technologicznej. Zapewni to możliwość przyjęcia wstępnych długości aparatów transportujących spełniających wymogi potencjalnej zabudowy systemów ochrony przed wybuchem i skutkami przeniesienia się wybuchu w instalacji. Umożliwi to również, we współpracy z technologiem, opracowanie wytycznych do projektowania bezpiecznych instalacji. Może to prowadzić do osiągnięcia poważnych oszczędności finansowych.

6. Podsumowanie

Opracowane narzędzie obliczeniowe AW-OZ umożliwia ilościową ocenę poziomu zagrożenia/ryzyka związanego z pracą typowych aparatów technologicznych w warunkach obecności palnych i wybuchowych pyłów. Metodyka jest zgodna z zapisami dyrektywy ATEX User [2] w zakresie wykonywania oceny ryzyka wybuchu.

Korzystanie z opracowanego narzędzia obliczeniowego AW-OZ nie wymaga zaawansowanej wiedzy i doświadczenia od osoby wykonującej ocenę. Konieczne dane procesowe są stosunkowo łatwo dostępne.

Uzyskane wyniki zapewniają ilościową ocenę poziomu zagrożenia ocenianych aparatów i proponują jakościowe środki poprawy bezpieczeństwa procesowego i wybuchowego. Są podstawą do rozpoczęcia konsultacji ze specjalistami w celu podjęcia dalszych kroków w zakresie zabudowy systemów ochrony przed skutkami wybuchu. Metodyka AW-OZ umożliwia niezależną ocenę zagrożeń dla aparatów pracujących oraz nowo projektowanych.

Narzędzie to pozwala dokonywać oceny zagrożeń aparatów na podstawie rzeczywistych danych procesowych, bezpośrednio podczas audytów na obiekcie lub podczas porad technicznych nad nowo planowanym lub już istniejącym węzłem procesowym (wymagany jest dostęp do internetu). Takie podejście analityczne pozwala alokować zasoby, w szczególności finansowe, w obszary o największym ryzyku.

Oprogramowanie AW-OZ zostało udostępnione na urządzenia mobilne Android/iOS oraz na komputery PC/MAC/LINUX.

7. Tabele

Tabela 1-A Wersja 1: zestawienie danych i wyników oceny zagrożeń dla aparatów z grupy wyższego ryzyka. Instalacja o wydajności kilku ton/godz. MEZ = 5 mJ, DGW = 30 g/m. Oznaczenie: gravit. – zasyp grawitacyjny, burz. – ruch burzliwy, lamin. – ruch laminarny.

Table 1-A Version 1: Summary of hazard data and assessment results for higher-risk equipment. Installation capacity of several tons/hour. MEZ = 5 mJ, DGW = 30 g/m³. Notation: gravit. – gravity feed, burz. – turbulent flow, lamin – laminar flow.

Procesowe czynniki ryzyka / Aparaty:	V ₃ m	S	WKO m	OM	OA	RM	TPA	TPF	RZ	KI	KT	Ryzyko
Silos S	50	6	-	brak	brak	burz.	Okresowa	-	gravit.	Brak	-	R4
Pośredni zbiornik magazynowy PS	10	6	-	brak	brak	lamin.	Ciągła	-	gravit.	Brak	-	R3
Filtr F	6	-	4	-	-	-	ciągła	pod	-	brak	-	R3
Podajnik kubelkowy PK	5	35	-	brak	brak	-	ciągła	-	-	-	brak	R4

Tabela 1-B Wersja 1: zestawienie danych i wyników oceny zagrożeń dla aparatów z grupy niższego ryzyka. Instalacja o wydajności kilku ton/godz. MEZ = 5 mJ, DGW = 30 g/m³.

Table 1-B Version 1: Summary of data and hazard assessment results for lower-risk equipment. Installation with a capacity of several tons/hour. MIE = 5 mJ, MGC = 30 g/m³.

Procesowe czynniki ryzyka / Aparaty:	V m ³	L m	D m	OM	TPA	KT	PLW m/sek	ZO	ZD	KI	Ryzyko
Podajnik ślimakowy PS1/PS2	2	5	-	-	ciągła	brak	2	-	-	-	RR3
Rurociąg K2	-	5,5	0,45	brak	ciągła	-	-	brak	-	brak	RR3
Rurociąg K3	-	10	0,4	brak	ciągły	-	-	brak	-	brak	RR3
Rurociąg K1	-	8	0,45	brak	ciągły	-	-	brak	-	brak	RR3

Tabela 2-A Wersja 2: zestawienie danych i wyników oceny zagrożeń dla aparatów z grupy wyższego ryzyka. Instalacja o wydajności ok. 1 t/h, MEZ = 80 mJ, DGW = 120 g/m³.

Table 2-A Version 2: Summary of hazard assessment data and results for higher risk equipment. Installation with a capacity of approx. 1 t/h, MIE = 80 mJ, MGC = 120 g/m³.

Procesowe czynniki ryzyka / Aparaty:	V m³	S	WKO m	OM	OA	RM	TPA	TPF	RZ	KI	KT	Ryzyko
Silos S	10	3	-	ochrona	odpylanie	burzliwy	okresowy	-	zawór	kontrola	-	R2
Pośredni zbiornik magazynowy PS	5	3	-	ochrona	odpylanie	lamin.	ciągła	-	gawit.	kontrola	-	R2
Filtr F	1,5	-	3	-	-	-	ciągła	pod	-	kontrola	-	R2
Podajnik kubelkowy PK	2	8	-	ochrona	odpylanie	-	ciągła	-	-	kontrola	kontrola	R2

Tabela 2-B Wersja 2: zestawienie danych i wyników oceny zagrożeń dla aparatów z grupy niższego ryzyka. Instalacja o wydajności ok. 1 t/h, MEZ = 80 mJ, DGW = 120 g/m³.

Table 2-B Version 2: Summary of hazard data and assessment results for lower-risk equipment. Installation with a capacity of approx. 1 t/h, MIE = 80 mJ, MGC = 120 g/m³.

Procesowe czynniki ryzyka / Aparaty:	MEZ mJ	DGW g/m	V ₃ m	L m	D m	OM	TPA	KT	PLW m/sek	ZO	ZD	KI	Ryzyko
Podajnik ślimakowy PS1/PS2	80	120	0,3	1	-	-	ciągła	brak	0,8	-	-	-	RR1
Rurociąg K2	80	120	-	1,5	0,2	ochrona	ciągła	-	-	obecna	-	brak	RR1
Rurociąg K3	80	120	-	4	0,2	ochrona	ciągły	-	-	obecna	-	brak	RR2
Rurociąg K1	80	120	-	4	0,2	ochrona	ciągły	-	-	obecna	-	brak	RR2
Rurociąg K2 (A)	80	120	-	4,0	0,2	ochrona	ciągły	-	-	obecna	-	brak	RR2

References

[1] Combustible Dust Incident Report 2023, Dust Safety Science, 2023, <https://dustsafetyscience.com>, [dostęp: 15.02.2023].

[2] Dyrektywa 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1999 w sprawie minimalnych wymagań dotyczących poprawy ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników narażonych na ryzyko atmosfery wybuchowej.

- [3] Grupa Wolff, Metoda oceny zagrożeń wybuchem (OZ-AW), [dostęp: 15.02.2023], <https://www.grupa-wolff.eu/metoda-oceny-zagrozen-wybuchem-oz-aw>.
- [4] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-E-05204:1994. Ochrona przed elektrycznością statyczną. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 1994.
- [5] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 14373:2007. Systemy tłumienia wybuchu. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2007.
- [6] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 14491:2012. Urządzenia do odciążania wybuchu. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2012.
- [7] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 15089:2010. Systemy izolowania wybuchów. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.
- [8] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 16009:2011. Bezplomieniowe urządzenia odciążające wybuch. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2011.
- [9] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r., Dz.U. poz. 817 w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej.
- [10] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej), Dz.U. 2016 poz. 81.
- [11] The RASE Project: „Explosive Atmosphere: Risk Assessment of Unit Operations and Equipment”, EU Project No: SMT4-CT97-2169, marzec 2000.
- [12] Wolff, A., Wolff, B., Wolff, Z., *A new approach to the assessment of explosion risk of dusts*, “Chemical Engineering Transactions”, t. 67, 2018.