

Zagrożenia wybuchowe i procesowe na liniach podawania oraz mielenia węgla i biomasy



AUTOR | dr hab. inż. Andrzej Wolff
GRUPA WOLFF | www.g-w.eu

Opracowanie bazuje na doświadczeniu zdobytym przez inżynierów GRUPY WOLFF w czasie realizacji kilkunastu projektów polegających na zabezpieczeniu przed wybuchem i pożarem linii przyjęcia, podawania i mielenie węgla, biomasy oraz współspalania.

W artykule omówiono wybrane problemy techniczne i procesowe układów nawęglania oraz instalacji biomasy w energetyce z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa procesowego i wybuchowego. Przedstawiono ponadto zagrożenia, które niosą za sobą zanieczyszczenia zawarte w surowcach dostarczanych do układów nawęglania i instalacji przyjęcia biomasy. Omówiono wady i zalety różnych metod ochrony przed wybuchem w przypadku ich stosowania do zabezpieczenia silosów i zbior-

ników magazynowych oraz instalacji odpylania (filtry). Materiał zawiera ponadto wyjaśnienie znaczenia odpylania/aspiracji w układach nawęglania i instalacjach biomasy oraz praktyczne znaczenie wybranych parametrów palności i wybuchowości pyłów węgla i biomasy. Omówiono również racjonalne techniki zabezpieczenia młynów wentylatorowych (mielenie węgla brunatnego), walcowo-misowych i kulowo-misowych zespołów młynowych (mielenie węgla kamiennego, węgla kamiennego i biomasy – współspalanie).

1. Ryzyko poważnych awarii przemysłowych a bezpieczeństwo wybuchowe

[Dokument Zabezpieczenia Przed Wybuchem](#)

jest podstawowym prawnym i technicznym narzędziem do oceny bezpieczeństwa produkcji i szacowania akceptowalnego, w danych warunkach, ryzyka. Decyduje o tym wiele czynników technicznych i ekonomicznych, takich jak np. zależność między kosztami zapewnienia bezpieczeństwa procesowego i wybuchowego a uzyskanym w wyniku tego poziomem bezpieczeństwa produkcji i tzw. ryzykiem resztkowym.

Proces oceny przyjętego poziomu bezpieczeństwa i akceptowalnego ryzyka nie jest jednak zagadnieniem ani prostym ani jednoznacznym. Zależy to m.in. od przyjętej polityki zarządzania bezpieczeństwem w zakładzie, gdyż zastosowane środki bezpieczeństwa procesowego i wybuchowego, jak również przyjęty tym samym

Elektrownia Turów po wybuchu mieszanki pyłowo-powietrznej.



poziom ochrony mają bezpośredni związek z koniecznymi nakładami finansowymi. Nie ma jednak w tym zakresie dobrych, sprawdzonych i uniwersalnych rozwiązań. Przyjęty poziom ryzyka powinien wynikać z oszacowania prawdopodobieństwa zajścia danego zdarzenia, wielkości możliwych niepożądanych skutków, przyjętych scenariuszy awaryjnych w zakładzie czy oszacowania koniecznych i możliwych do przyjęcia nakładów. Ilościowa ocena poziomu ryzyka awarii przemysłowej jest zagadnieniem trudnym i wymaga ogromnego doświadczenia. Jego brak może prowadzić albo do niedoszacowania ryzyka lub jego przeszacowania co grozi nadmiernymi kosztami.

Dlatego na podstawie wieloletnich doświadczeń uważamy, że decydujące znaczenie powinno mieć tu praktyczne techniczne i procesowe doświadczenie osób decydujących o przyjętych rozwiązaniach oraz osób decydujących o akceptowalnym poziomie bezpieczeństwa w zakładzie.

1.1. Ryzyko poważnych awarii w energetyce

Ryzyko poważnej awarii i ocena ryzyka wybuchu w energetyce są jednym z podstawowych problemów, które powinny być brane pod uwagę przy podejmowaniu technicznych i finansowych decyzji. W artykule omówiono wybrane zagadnienia związane z:

1. układami nawęglania dla potrzeb mielenia i spalania węgla kamiennego oraz węgla brunatnego;
2. układami nawęglania dla potrzeb współspalania węgla i biomasy;
3. liniami przyjęcia, przygotowania, magazynowania i transportu biomasy dla potrzeb spalania/współspalania.

Zagadnienia związane z zagrożeniem poważną awarią w obszarze linii nawęglania i mielenia oraz instalacji biomasy dla potrzeb spalania lub współspalania dotyczą m.in. następujących operacji jednostkowych:

- magazynowanie paliw w silosach i zasobnikach szczelinowych;
- transport mechaniczny (podajniki taśmowe, zgrzeblowe, kulekowe, przesypy i inne);
- odpylanie pyłów na liniach nawęglania i instalacjach biomasy;
- mielenie węgla kamiennego, brunatnego i współmielenie węgla i biomasy.

Analiza zagrożeń wymaga ponadto oceny jakości przyjmowanego paliwa na plac składowy (zanieczyszczenia mechaniczne, takie jak kamienie, metale i inne, zawartość wilgoci,



Po wybuchach jakie miały miejsce w Elektrowniach Dolna Odra oraz Turów GRUPA WOLFF zabezpieczyła przed wybuchem i pożarem większość dużych oraz znaczną ilość małych i średnich wytwórców energii. Projekty zrealizowane na rzecz takich firm jak PGE, EDF, Veolia, Energa, Enea, CEZ, PGNiG, Tauron oraz PAK sprawiły, że GRUPA WOLFF stała się jedną z najbardziej doświadczonych w tym obszarze firm w tej części Europy.

zawartość pyłów). Należy także przeprowadzić krytyczną analizę parametrów palności i wybuchowości pyłów stosowanych paliw, w szczególności ocenić zagrożenia wynikające z minimalnej energii zapłonu.

2. Ochrona instalacji przed wybuchem

Współczesny przemysł ma do dyspozycji techniczne, organizacyjne i prawne środki ochrony przed zagrożeniem wybuchem wywołanym obecnością palnych i wybuchowych proszków, pyłów, gazów, par cieczy i mgieł.

Techniczna ochrona przed wybuchem zapewnia ograniczenie możliwości powstawania wybuchu poprzez nowoczesny projekt instalacji, zastosowanie bezpiecznej technologii i bezpiecznych urządzeń procesowych, ograniczenie źródeł zapłonu, wysoką jakość sterowań, odpowiednie procedury obsługi instalacji, szkolenia pracowników i inne. Nie eliminuje to jednak wszystkich zagrożeń i nie zabezpiecza instalacji produkcyjnych przed skutkami ewentualnego wybuchu. Jedną z podstawowych czynności jest zapewnienie, by projekt instalacji został poddany wiarygodnej ocenie ryzyka wybuchu. Realizacja zaleceń wynikających z takiej oceny pozwoli zapewnić bezpieczeństwo pracy instalacji na poziomie akceptowalnym przez kierownictwo zakładu.

Zabezpieczenia przeciwwybuchowe ograniczają skutki możliwego wybuchu do bezpiecznego poziomu (odciążanie wybuchu) lub nie dopuszczają do rozwinięcia się zapoczątkowanego wybuchu (tłumienie wybuchu). Rozwiązania te umożliwiają ochronę aparatów procesowych przed skutkami wybuchu. Zapewnienie bezpieczeństwa wybuchowego ciągu technologicznego wymaga ponadto zastosowania odsprężania (izolacji) aparatów zagrożonych wybuchem od reszty instalacji (eliminacja zagrożenia przeniesienia się wybuchu). Zabezpieczenia przeciwwybuchowe pozwalają więc sprowadzić skutki wybuchu do poziomu bezpiecznego dla pracujących ludzi, instalacji i otoczenia. Ochrona tego typu jest wymagana przez prawo europejskie oraz praktykę przemysłową.

Techniczna ochrona przed zagrożeniem wraz z zabezpieczeniami przeciwwybuchowymi mają na celu:

1. ograniczenie możliwości tworzenia się atmosfer wybuchowych;
2. eliminację/ograniczenie potencjalnych źródeł zapłonu;
3. poprawę bezpieczeństwa poprzez zastosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych, właściwą organizację pracy, szkolenia;

4. minimalizację potencjalnych skutków wybuchu.

Należy przede wszystkim ograniczać możliwość pojawienia się atmosfery wybuchowej, a gdy to jest niemożliwe, wówczas należy ograniczyć to zagrożenie do takiego stopnia, jak to jest technicznie możliwe. W praktyce ważna jest eliminacja/ograniczenie potencjalnych źródeł zapłonu (np. przez zabudowę separatorów magnetycznych, uziemień elektrostatycznych).

Problemy te powinny być rozwiązywane już na etapie tworzenia koncepcji/projektowania instalacji przemysłowych, a także na etapie badawczym (budowa i testy w instalacjach pilotowych).

Jeżeli jednak istnieje realne prawdopodobieństwo obecności atmosfer wybuchowych (a jest to zjawisko normalne) i źródeł zapłonu (mimo wykorzystanych rozwiązań technicznych), to konieczne staje się stosowanie systemów zabezpieczeń przed skutkami wybuchów. Zaproponowanie właściwego rozwiązania wymaga dużego doświadczenia i odpowiedzialności, gdyż należy tu brać pod uwagę zarówno różne czynniki procesowe i techniczne (przyjęta technologia, typ i rodzaj chronionych aparatów, rodzaj i zakres zastosowanych zabezpieczeń przed wybuchem itp.), jak i wynikające z tego koszty. Przykładowo zastosowanie odciążania wybuchu wymaga uwzględnienia otoczenia chronionych aparatów (konieczność wyznaczenia strefy niebezpiecznej z uwzględnieniem zasięgu fali ciśnienia i płomienia po wybuchu) oraz potencjalnych problemów związanych z ochroną środowiska (wyrzut cząstek spalonych, niespalonych i palących się do otoczenia). Rozwiązywanie tych problemów wymaga świadomej i odpowiedzialnej



Elektrownia Dolna Odra po wybuchu mieszanki pyłowo-powietrznej.

współpracy projektanta/eksperta/dostawcy systemu przeciwybuchowego z kierownictwem zakładu. Zagadnienia te w energetyce należy brać pod uwagę podczas budowy/modernizacji układów nawęglania i instalacji biomasy.

3. Jakość surowca dostarczanego do układów nawęglania i zespołów młynowych

Brak należytej kontroli jakości przyjmowanych surowców (węgiel kamienny, węgiel brunatny, biomasa) przed zasypaniem do leja załadunkowego, zbiornika pośredniego czy zasobnika szczelnego może prowadzić do poważnych zagrożeń pożarowych i/lub wybuchowych. Dostarczany węgiel oraz biomasa mogą zawierać kawałki metali, kamienie, tworzywa sztuczne. Elementy te podawane z węglem brunatnym czy biomasą do wysokiego podajnika kubelkowego, zasypywane do wysokiego zbiornika/zasobnika, a także transportowane poprzez wysokie przesypy mogą tworzyć zagrożenie powstawania iskier o energii dostatecznie dużej do zapłonu at-

mosfery wybuchowej. Wytrzymałość mechaniczna peletów biomasy jest (zwykle) ograniczona, co może prowadzić podczas ich transportu do poważnego wzrostu zawartości pyłów.

Obecność zanieczyszczeń stalowych czy kamieni w węglu podawanym do młynów kulowych oraz równoczesne podawanie gorącego powietrza mogą prowadzić do powstania iskier o energii dostatecznie dużej do zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej (wzrost temperatury w młynie może powodować obniżenie minimalnej energii zapłonu pyłów węgla). Zagrożenia tego typu nie są brane pod uwagę w dostatecznym stopniu. Przykładowo w wielu przypadkach decydująca jest cena jednostkowa surowca.

4. Praktyczne znaczenie parametrów palności i wybuchowości pyłów węgla i biomasy

Jest to ważne zagadnienie, gdyż pełne badanie pyłów obejmuje szereg parametrów:

WEBINAR

Biomasa i „nowy” węgiel – czy energetykę znów czeka seria wybuchów i pożarów

PROGRAM RAMOWY:

- Przyczyny wybuchów w Turowie oraz Dolnej Odrze
- Dlaczego biomasa i „nowy” węgiel mogą drastycznie zwiększyć ryzyko wybuchu i pożaru
- Jak nie dopuścić do powtórki z przeszłości - przykłady różnych zrealizowanych projektów

REJESTRUJĘ UDZIAŁ

KLIKNIJ ABY PRZEJŚĆ NA STRONĘ REJESTRACJI



- stała wybuchowości K_{st} [bar m/s];
- maksymalne ciśnienie wybuchu P_{max} [bar];
- minimalna energia zapłonu MIE [mJ];
- dolna granica wybuchowości DGW [g/m³];
- temperatura zapłonu obłoku pyłu [°C];
- temperatura zapłonu warstwy pyłu [°C].

W niektórych przypadkach wyznacza się także graniczne stężenie tlenu GST [% obj.], poniżej którego nie może dojść do zapłonu. Badania te nie należą do najtańszych.

Często istotne są także własności fizyczne surowca, jak np. wilgotność, rozkład granulometryczny, wytrzymałość mechaniczna (peletów) i inne. Część z tych parametrów odpowiada za skutki wybuchu (stałe K_{st} , P_{max}), inne za podatność na zapłon (MIE, temperatury zapłonu). W przypadku wielu elektrowni czy elektrociepłowni mamy ponadto do czynienia z węglami pochodzącymi z różnych kopalń, z różnymi typami biomasy (leśna, agro, pelety) o zmiennej podatności na zapłon.

Ponadto należy mieć na uwadze, że laboratoryjne badania pyłów prowadzone są w warunkach otoczenia (temperatura i ciśnienie), a stosowane procesy przebiegają często w podwyższonych temperaturach i/lub ciśnieniach. Warunki przebiegu procesu mają wpływ na rzeczywiste wartości niektórych parametrów palności i wybuchowości. Prowadzi to nieuchronnie do pytania: co dają nam badania laboratoryjne wartości parametrów palności i wybuchowości pyłów? Które z tych wartości mają znaczenie podstawowe z przemysłowego punktu widzenia?

4.1. Minimalna energia zapłonu MIE

Parametr ten określa minimalną energię, którą należy dostarczyć (np. w postaci iskry), by doszło, w określonych warunkach, do zapłonu atmosfery wybuchowej.

Wg naszej oceny parametr ten ma znaczenie podstawowe. W przypadku wielu pyłów wartości MIE znajdują się w przedziale 20–100 mJ. Istnieją również pyły, dla których MIE < 5 mJ (pyły siarki, toner do drukarek, pyły niektórych typów biomasy).

W energetyce wartość parametru MIE ma szczególne znaczenie podczas oceny ryzyka wybuchu układów nawęglania i zespołów młynowych. Co prawda węgiel kamienny posiada zwykle wartość MIE > 1000 mJ, ale bywają węgle o niż-

szych wartościach MIE. W przypadku węgla brunatnego czy biomasy wartości te mogą być zdecydowanie niższe, nawet na poziomie 10–100 mJ. W przypadku niskich wartości MIE szczególnego znaczenia nabiera nie tylko problem zapewnienia bezpieczeństwa wybuchowego, ale i procesowego (np. stosowanie odpowiednio skutecznych separatorów magnetycznych w liniach nawęglania i biomasy). Wartość tego parametru jest równie ważna podczas oceny ryzyka innych operacji jednostkowych, np. suszenia (w tym szczególnie suszenia w złożu fluidalnym). Proces ten, niezależnie od swojej skuteczności suszenia, prowadzi bowiem do powstania zagrożeń zapłonem obecnych w przestrzeni aparatu pyłów, a także samozapłonem odkładających się na ściankach aparatu wilgotnych warstw pyłów.

Należy także brać pod uwagę fakt, że oznaczona wartość MIE, w warunkach laboratoryjnych, może być w warunkach procesowych niższa. Dzieje się tak m.in. w procesie mielenia czy suszenia, gdyż mamy tam do czynienia z podwyższoną temperaturą.

4.2. Dolna granica wybuchowości DGW

Parametr ten określa minimalne stężenie substancji, w postaci chmury pyłu w powietrzu, powyżej którego może dojść do jej zapłonu i wybuchu.

Wartość DGW jest jednak tylko informacją o skłonności danego pyłu do tworzenia atmosfery wybuchowej, a nie praktycznym kryterium oceny bezpieczeństwa. Nie bardzo bowiem wiadomo, jak w praktyce efektywnie wykorzystać znajomość tego parametru, gdyż stężenie pyłu w powietrzu w postaci chmury jest zwykle niejednorodne i ma charakter chwilowy.

4.3. Parametry K_{st} , P_{max} , P_{red}

Parametr K_{st} określa szybkość narastania ciśnienia podczas wybuchu w danej objętości, P_{max} to maksymalne ciśnienie wybuchu, a P_{red} to wartość zredukowanego ciśnienia wybuchu w danym aparacie po zastosowaniu zabezpieczeń przeciwwybuchowych.

Znajomość wartości parametrów K_{st} i P_{max} ma znaczenie podstawowe na etapie projektowania systemu zabezpieczenia aparatu/instalacji przed wybuchem. Natomiast dla potrzeb oceny ryzyka wybuchu zasadniczo istotna jest tylko wiedza, czy dane pyły są wybuchowe, czy nie.

Z parametrami K_{st} i P_{max} oraz P_{red} i projek-

towaniem systemu zabezpieczenia aparatu procesowego przed wybuchem nieodłącznie związany jest ponadto inny bardzo istotny parametr – wytrzymałość konstrukcyjna chronionego aparatu P_{stat} . Gwarantowana wartość zredukowanego ciśnienia wybuchu P_{red} po zadziałaniu systemu przeciwybuchowego, nie może być bowiem wyższa od wartości P_{stat} . Zwykle jednak wartości parametru P_{stat} nie są znane i w praktyce tworzą szereg problemów. Typowy zakres wartości parametrów dla pyłów drewna/biomasy/węgla podano w tabeli 1.

5. Operacje jednostkowe i pochodzenie pyłów jako źródła zagrożenia wybuchem w przemyśle

Podane w tabelach 2 i 3 dane ilustrują statystyczne znaczenie różnego typu operacji jednostkowych i różnego typu pyłów, z punktu widzenia zagrożenia wybuchem.

Powyższe zestawienia prowadzą do istotnego w energetyce pytania: czy pracujące układy nawęglania (węgiel kamienny i brunatny) i instalacje biomasy uwzględniają zagrożenia tego typu w dostatecznym stopniu?

Z danych tabeli 2 wynika bowiem, że typowe operacje jednostkowe, obecne w każdym obiekcie nawęglania, odpowiadają statystycznie za 60% wybuchów, a pyły stosowanych surowców (węgiel, drewno, biomasa) odpowiadają za prawie 40%. Z praktycznego punktu widzenia wartości te są wysokie.

6. Mielenie dla potrzeb spalania/współspalania węgla i biomasy

6.1. Młyny wentylatorowe – mielenie węgla kamiennego i brunatnego

Możliwe zabezpieczenie węgla mielenia węgla składającego się z młyna wentylatorowego, filtra i transportu pneumatycznego do zbiornika pośredniego obejmuje odsprężanie wybuchu na kanale dolotowym do filtra po młynie, zawór dozujący transportu pneumatycznego w wykonaniu Atex i system tłumienia wybuchu zabudowany na filtrze i zbiorniku. Zabezpieczenie samego młyna z odsiewaczem (regulującym wydajność młyna) nie jest technicznie możliwe. Zabezpieczenie zasypu węgla do młyna wentylatorowego zależy od konstrukcji zasypu i przyjętej filozofii bezpieczeństwa. Jako odsprężająca wybuch traktowana może być bowiem warstwa produktu. Rozwiązanie to ma jednak istotne wady: (a) brak warstwy produktu podczas zatrzymywania i potem uruchamiania młyna, (b) konieczność określenia minimalnej wysokości warstwy w zmiennych warunkach pracy i (c) konieczność utrzymywania

warstwy na określonym poziomie.

Alternatywne rozwiązanie wykorzystywane np. w elektrowniach obejmuje zastosowanie gazu inertnego (gazy spalinowe) do tworzenia obojętnej atmosfery w młynie wentylatorowym. System ten umożliwia ponadto poduszanie węgla podczas mielenia.

6.2. Misowo-kulowe i misowo-walcowe zespoły młynowe – mielenie węgla kamiennego i węgla kamiennego oraz biomasy (współspalanie)

Młyny kulowe i walcowe, dla potrzeb współspalania, pracują z większym wypełnieniem komory mielenia. Zmianie ulegają więc warunki panujące wewnątrz młyna, gdyż biomasa jest materiałem plastycznym o dużo mniejszym ciężarze nasypowym. Prowadzi to do odkładania się elementów biomasy w komorze mielenia i komorze pirtowej, gdyż substancje organiczne znajdujące się w biomacie zawierają związki, które powodują zlepianie się cząstek. Zwiększa to ryzyko zapłonu biomasy. Odpowiada za to jej dużo niższa minimalna energia zapłonu MIE i zwykle duża zawartość części lotnych.

Podczas pracy młyna mamy do czynienia z podawaniem dużych ilości gorącego powietrza o temperaturze 250–320°C. Tworzy to, szczególnie w przypadku współmielenia, dodatkowe zagrożenia zapłonem, gdy temperatura w komorze mielenia waha się w zakresie od +80 do +120°C. Prawdopodobnie podstawowym problemem jest jednak jakość surowca podawanego do mielenia: obecność elementów stalowych i (twardych) kamieni istotnie zwiększa zagrożenia zapłonem, w każdej sytuacji. Zabezpieczenie młynów tego typu może opierać się na dwóch istotnie różnych rozwiązaniach:

- odsprężanie wybuchu na rurze zasypowej z zasobnika szczelinowego do młyna za pomocą zasowy szybkiego działa-

nia, odpornej na maksymalne ciśnienie wybuchu P_{max} , lub

- system tłumienia wybuchu (butle HRD) w młynie i odsprężanie wybuchu na rurze zsympowej z zasobnika i na kanałach pyłowych.

Przyjęte rozwiązanie jest funkcją akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa i ustaleń w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa procesowego podczas pracy układu młynowego.

7. Magazynowanie w silosach jako element instalacji procesowej

Schemat blokowy pokazany na rys. 1 może m.in. odpowiadać instalacji przyjęcia, transportu i magazynowania biomasy w silosach oraz transportu biomasy z silosów pośrednich do zbiorników przykotłowych, w celu spalania lub współspalania z węglem.

Kolor czerwony wokół silosu, pokazany na schemacie, ilustruje możliwy zasięg fali ciśnienia i płomienia podczas odciążenia wybuchu w silosie zabezpieczonym za pomocą paneli odciążających. Rozwiązanie takie stwarza zagrożenia dla sąsiednich urządzeń, a także pojazdów i osób przebywających na placu manewrowym. Powstaje pytanie: jak się przed tego typu zagrożeniem chronić? Jak należy projektować duże silosy zabezpieczone przed skutkami wybuchu za pomocą paneli odciążających?

Racjonalne podejście wynika z obliczeń pokazanych w tabeli 4, a wykonanych zgodnie z normą PN-EN 14797, dla silosu o objętości $V = 1000 \text{ m}^3$. Obliczenia przeprowadzono dla pyłów o wartości parametrów $K_{st} = 150 \text{ bar m/s}$ i $P_{max} = 9 \text{ bar}$. Odpowiada to uśrednionym wartościom parametrów typowego węgla kamiennego, brunatnego i biomasy. Do obliczeń przyjęto odporność konstrukcyjną silosu równą 0,5 bar g (jeden z kluczowych parametrów).

Powierzchnia górnej części (dachu) silosu

F, o objętości $V = 1000 \text{ m}^3$, zmienia się, w zależności od stosunku H/D, w zakresie od 92 do 31 m^2 . Obliczona konieczna powierzchnia odciążenia wybuchu A_v rośnie z 12 m^2 (dla smukłości H/D = 1) do 29 m^2 (dla H/D = 5), czyli prawie 2,5-krotnie. Odpowiednio rośnie także koszt zabezpieczenia silosu przed wybuchem.

Z zestawienia wynika, że dla smukłości H/D > 3 stosunek A_v do F jest zbyt duży, by można było zabezpieczyć silos za pomocą paneli zabudowanych na dachu (brak miejsca na zabudowę układu zasypu i na odpylanie).

8. Odpylanie aparatów i węzłów procesowych

Problemy ograniczenia/eliminacji obecności pyłów podczas transportu, magazynowania czy przesypywania węgla kamiennego, brunatnego i biomasy w układach nawęglania, a także tworzenia się nawisów w zbiornikach czy zasobnikach szczelinowych mają istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa produkcji.

Jednym z możliwych rozwiązań jest wykorzystanie, w przestrzeni przesypów, systemów mgły wodnej (pod warunkiem ich wcześniej

Źródła zagrożeń	%
silosy (magazynowanie)	20
instalacje odpylające	17
instalacje transportujące	10
instalacje mielące	13
RAZEM	60
suszarnie	8
instalacje dopalające	5
instalacje mieszania	5
polerowanie i szlifowanie	5
przesiewanie	3
inne	16
RAZEM	100

TAB. 2. Statystyczny udział w wybuchach typowych operacji jednostkowych (aparaty i węzły procesowe) w przemyśle

Pyły w przemyśle	%
pyły i wióra drzewne	30
pyły węgla	9
produkty spożywcze	24
produkty chemiczne	11
tworzywa sztuczne	12
metale	14

TAB. 3. Statystyczny udział w wybuchach typowych pyłów obecnych w przemyśle

Parametr	DGW	K_{st}	P_{max}	MIE	Grupa wybuch.
JEDNOSTKA	g/m^3	bar x m/s	bar	mJ	
pył drzewny (mielenie)	30–60	56–200	8–10	–	St1 (St2)
węgiel kamienny	40–60	60–150	7–9	(> 10 ³)	St1
węgiel brunatny	30–60	100–176	7–10	–	St1
pelety drzewne	24	108	4,3	30	St1
pelety słomy	48	107	5,4	25	St1
brykiety słomy	140	89	8,9	165–215	St1
węgiel z biomasą agro	130	104	7,8	> 1000	St1
węgiel z biomasą leśną	260	96	7,6	300–1000	St1

TAB. 1. Wybrane wartości parametrów palności i wybuchowości drewna, biomasy i węgla
Źródło: Raport BIA (Brenn- und Explosionskenngrößen von Stauben), Kopalnia Doświadczalna Barbara”.

szego doszczelnienia). Jednakże stosowanie tego typu systemów wiąże się z technicznie trudnym do rozwiązania problemem, jakim jest dobranie właściwych parametrów pracy instalacji. Podawanie zbyt dużej ilości mgły prowadzić będzie do zjawiska oblepiania komory, konstrukcji i uszczelnień przesypów zabudowanych nad przenośnikami taśmowymi. Natomiast dozowanie zbyt małej ilości mgły będzie skutkowało niedostateczną eliminacją zjawiska pylenia. W praktyce kontrola właściwego dozowania mgły jest technicznie bardzo trudna, ze względu na zmienną w czasie obecność pyłów podczas transportu paliwa. W przypadku magazynowania surowców w silosach czy zasobnikach szczeliniowych pojawia się dodatkowe zagrożenie powstawania nawisów. Często przyczyną tego zjawiska jest nadmierna wilgoć.

Odrywanie się powstałych nawisów może przyczynić się do zasadniczego zwiększenia zagrożeń. Ponadto nawisy mogą prowadzić do zjawiska beztlenowego zapłonu, co skutkuje tworzeniem pewnych ilości CO₂, CH₄ i CO. Tłące się paliwo kierowane do zespołu młynowego może być przyczyną pożaru i/lub wybuchu w młynie.

Rozwiązaniem podanych problemów jest zastosowanie efektywnego systemu odpylania (filtry, cyklony, filtrocyclony). W przypadku układów nawęglania dotyczy to szczególnie przesypów oraz zasypów do zasobników szczeliniowych. W przypadku instalacji biomasz dotyczy to szeregu operacji, w tym oczyszczania, magazynowania i transportu. Racjonalne zastosowanie filtrów pozwala odebrać znaczne ilości pyłów, co prowadzi do istotnego obniżenia zagrożeń w obszarze instalacji procesowych. Problem nie jest jednak łatwy, gdyż ilość transportowanych pyłów i ich granulacja oraz zawartość wilgoci są zmiennie w czasie. Powoduje to, że system odpylania nie pracuje w ustalonych warunkach. Należy jednak podkreślić, że dzięki zastosowaniu skutecznego odpylania przenosimy podstawowe zagrożenia związane z obecnością palnych i wybuchowych pyłów z instalacji procesowej do części brudnej filtrów. Wiąże się to z koniecznością zabezpieczenia instalacji odpylania (i odkurzenia) przed skutkami wybuchu.

Problem właściwie zaprojektowanych i racjonalnie zabezpieczonych instalacji odpylania przed skutkami wybuchu jest jednym z ważniejszych, szczególnie z punktu widzenia koniecznych do poniesienia kosztów. Współczesna technika oferuje tu różne rozwiązania, podane w kolejnych punktach.

8.1. Odciążenie wybuchu (analiza konstrukcji filtra)

Odciążenie wybuchu za pomocą paneli zapewnia ochronę aparatu poprzez odprowadzenie skutków wybuchu (ciśnienie, płomień, cząstki spalone i niespalone, palące się) do atmosfery (negatywne oddziaływanie na środowisko). Niezbędne do tego są obliczenie wymaganej powierzchni odciążenia oraz analiza miejsca zabudowy filtra i paneli odciążających wybuch (z uwzględnieniem jego otoczenia). Konieczna jest znajomość warto-

Smukłość (H/D)	1	2	3	4	5
H, m	10,8	17,2	22,6	27,3	31,7
D, m	10,8	8,6	7,5	6,8	6,3
Av, m ²	12	19	24	27	29
F, m ²	92	58	44	36	31
Av/F,%	13	33	55	75	95

TAB. 4. Wpływ smukłości silosu (stosunek długości H do średnicy D) na wymaganą powierzchnię odciążenia wybuchu

ści parametrów wybuchowości pyłu, a także konstrukcji aparatu oraz lokalizacji wkładów filtracyjnych filtra w stosunku do położenia paneli. W obszarze odciążenia wybuchu należy wyznaczyć strefę zagrożenia wybuchem, gdyż możliwy zasięg fali wybuchu często sięga 30–40 m, a nawet więcej.

W uzasadnionych przypadkach w miejsce paneli można zastosować tzw. bezpłomieniowe odpowietrzanie wybuchu. Zapewnia to istotnie bezpieczniejsze odciążenie wybuchu w filtrze zabudowanym w hali, a wymagana strefa zagrożenia wybuchem jest zdecydowanie mniejsza. System odpylania należy wyposażyć w odsprężanie wybuchu na kanale zapyłonego powietrza

do filtra i na wysypie odbieranych pyłów z filtra. W szczególnych przypadkach zabezpieczonego musi zostać również kanał czystego powietrza. Dobór systemu odciążenia i odsprężania wybuchu wymaga znajomości parametrów wybuchowości pyłu.

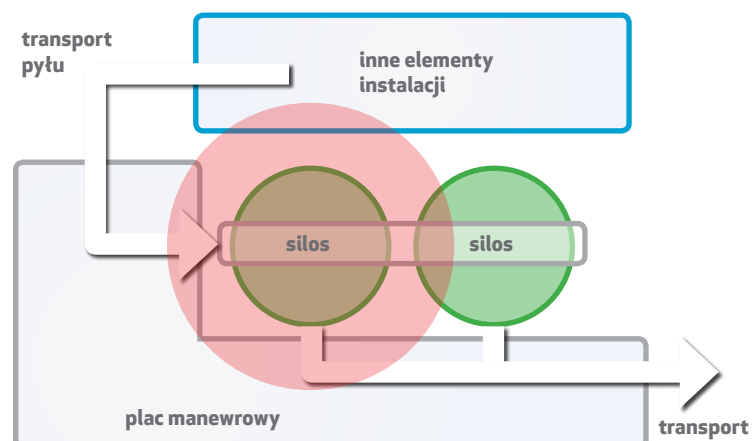
8.2. Tłumienie wybuchu (analiza konstrukcji filtra)

Tłumienie wybuchu zapewnia ochronę aparatu poprzez wtrysk proszku tłumiącego wybuch z butli HRD, w jego początkowym etapie, do chronionej przestrzeni aparatu. Ochrona tego typu umożliwia zabudowę systemu odpylania zarówno w hali, jak i na wolnej przestrzeni.

Elementami systemu tłumienia są butle HRD, czujniki ciśnienia (w uzasadnionych sytuacjach także czujniki optyczne) i centrala sterująca. Zadaniem systemu jest sprowadzenie ciśnienia wybuchu do wartości bezpiecznej dla konstrukcji aparatu. Centrala sterująca zapewnia uruchomienie systemu tłumienia i przekazanie sygnału do systemu nadrzędnego w celu zatrzymania pracy filtra i instalacji. Tłumienie wybuchu przebiega w zamkniętej kubaturze części brudnej filtra. Rozwiązanie to eliminuje wszelkie niebezpieczne zjawiska towarzyszące odciążeniu wybuchu, w tym konieczność wyznaczenia strefy zagrożenia wybuchem. Dobór systemu tłumienia wymaga znajomości parametrów wybuchowości pyłu oraz podstawowych danych o konstrukcji filtra. System odpylania należy ponadto wyposażyć w odsprężanie wybuchu na kanale zapyłonego powietrza i na wysypie odbieranych pyłów.

8.3. Odsprężanie wybuchu w układzie odpylania

Odsprężanie wybuchu ma na celu ochronę instalacji przed przeniesieniem się fali



RYS. 1. Schemat blokowy instalacji przemysłowej

ciśnienia i płomienia wybuchu, z aparatu zagrożonego na urządzenia towarzyszące poprzez łączące je kanały czy rurociągi. W przypadku instalacji odpylania w energetyce chroni to urządzenia przesypowe czy transportowe układów nawęglania. W przypadku instalacji biomasy odsprężanie wybuchu na kanałach brudnego powietrza chroni odpylane urządzenia przed cofnięciem się wybuchu z filtra.

Racjonalnym rozwiązaniem przy odsprężaniu wybuchu na kanałe zapyłonego powietrza przed filtrem jest zastosowanie butli HRD z proszkiem tłumiącym. Odsprężanie wybuchu powinno być powiązane z systemem tłumienia wybuchu w samym filtrze. W przypadku stosowania odciążenia wybuchu jako ochrony aparatu wymagana jest zabudowa czujnika ciśnienia w filtrze i centrali sterującej odpowiedzialnej za uruchomienie systemu odsprężania. Na wyspie z filtra do odsprężania wybuchu konieczna jest zabudowa zaworu dozującego (z certyfikatem ATEX). Na kanałe zapyłonego powietrza, przed filtrem, możliwe jest także, w uzasadnionych przypadkach, zastosowanie jako odsprężania wybuchu kłapy zwrotnej lub zasowy szybkiego działania.

8.4. Znaczenie odpylania w układach nawęglania i instalacjach biomasy

Przykładowe zastosowania to: odpylanie w celu odbioru pyłów z przestrzeni przesypów i aparatów (transport, magazynowanie) lub usuwanie nadmiaru transportowanego z surowcem powietrza (aspiracja).

Odpylanie prowadzące do usuwania pyłów z zamkniętej przestrzeni przesypów i aparatów jest konieczne zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa procesowego, jak i wybuchowego. Natomiast usuwanie nadmiaru powietrza (aspiracja, stosowana np. w szczelnych przesypach instalacji biomasy) nie ogranicza ilości pyłów w instalacji, więc nie ogranicza zagrożeń wybuchowych. Odpylanie w celu usuwania nadmiaru pyłów powinno być rozwiązaniem podstawowym. Aspiracja jest natomiast, w pewnych sytuacjach procesowych, korzystnym działaniem uzupełniającym.

9. Potencjalne problemy związane z suszeniem węgla brunatnego i biomasy leśnej

Suszenie jest jedną z istotnych operacji jednostkowych stosowanych w przemyśle. Przemysł stosuje różnego typu urządzenia procesowe: suszarnie bębnowe, łopatkowe

PONIŻEJ PODANO PODSTAWOWE WADY I ZALETY dostępnych technik zabezpieczania silosów i zbiorników magazynowych przed skutkami wybuchów:

ODCIĄŻANIE WYBUCHU (panele zabudowane na dachu silosu)

WADY: odciążenie wybuchu zagraża pracownikom (podczas okresowego przeglądu i remontów na dachu), zagraża układowi zasypu do silosu i instalacji odpylania, możliwe jest skażenie środowiska (z powodu obecności podczas wybuchu cząstek spalonych, niespalonych i palących się);

ZALETY: umożliwia pełne wykorzystanie objętości roboczej silosu, niskie koszty zabezpieczenia;

ODCIĄŻANIE WYBUCHU (panele zabudowane na części cylindrycznej)

WADY: odciążenie wybuchu może zagrażać sąsiednim aparatom oraz samochodom i ludziom przebywającym na placu manewrowym (fala płomienia i ciśnienia wybuchu), ograniczone wykorzystanie objętości silosu (70–80%), możliwe skażenie środowiska;

ZALETY: niskie koszty zabezpieczenia;

TŁUMIENIE WYBUCHU (system HRD)

WADY: ograniczone wykorzystanie objętości roboczej silosu (80–90%), rozwiązanie wymagające wyższych nakładów finansowych, zastosowanie ograniczone do silosów o pojemności do 500 m³;

ZALETY: system HRD zapewnia zasadniczo wyższy poziom bezpieczeństwa, brak ujemnego oddziaływania na środowisko.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 roku i europejskimi normami PN-EN 14797 i PN-EN 1437 jako uzupełnienie każdego z powyższych rozwiązań należy zastosować odsprężanie (izolację) wybuchu PN-EN 15089 na zasilaniu/opróźnianiu silosu. Otwarte pozostaje pytanie, czy duże silosy (o objętości powyżej 2000 m³) można efektywnie zabezpieczyć przed skutkami wybuchu, a jeżeli nie, to jakie działania ochronne powinny być brane pod uwagę.

(suszenie i mieszanie), rozpyłowe, fluidalne, pneumatyczne i inne. Dobór odpowiedniego procesu suszenia ma także znaczenie w przypadku podjęcia decyzji o suszeniu biomasy leśnej (zrębki) czy węgla brunatnego.

W przypadku suszenia substancji, które nie niosą ze sobą zagrożeń pożarowych i/lub wybuchowych, kryterium zastosowania danego typu suszenia wynika z oczekiwanej wydajności suszenia, dostępnej powierzchni do zabudowy układu suszenia, dostępności preferowanego medium suszącego, jednostkowych kosztów suszenia i innych.

Natomiast w przypadku suszenia palnych i wybuchowych substancji, zawierających pyły, jednym z kluczowych czynników jest zapewnienie bezpieczeństwa procesowego i wybuchowego podczas procesu suszenia.

Kryterium zapewnienia bezpieczeństwa podczas operacji suszenia ogranicza możliwość stosowania rozwiązań, które cechuje odkładanie się surowca na ścian-

kach aparatu, co może prowadzić do zagrożenia samozapłonu (suszarnie rozpyłowe i fluidalne). Preferowane powinny być rozwiązania, w których istnieje techniczna możliwość ograniczenia tworzenia atmosfery wybuchowej, np. poprzez stosowanie dodatku gazu inertnego obniżającego zawartość tlenu (suszarnie łopatkowe – mieszalnik).

Stosowane do suszenia zrębków leśnych suszarnie pneumatyczne w części początkowej, z powodu dużej zawartości wilgoci w surowcu, nie stwarzają zagrożeń. Jednakże w części końcowej, gdy zawartość wilgoci spada poniżej ok. 25%, zagrożenia pożarowe i wybuchowe poważnie rosną. Potencjalne zastosowanie złoża fluidalnego do suszenia np. węgla brunatnego jest rozwiązaniem obciążonym ryzykiem samozapłonu. W tym przypadku właściwe podejście wymagałoby obniżenia zawartości powietrza (tlenu) w strumieniu transportowanego węgla. Można to uzyskać przy wykorzystaniu do suszenia gorących gazów spalinowych. ■