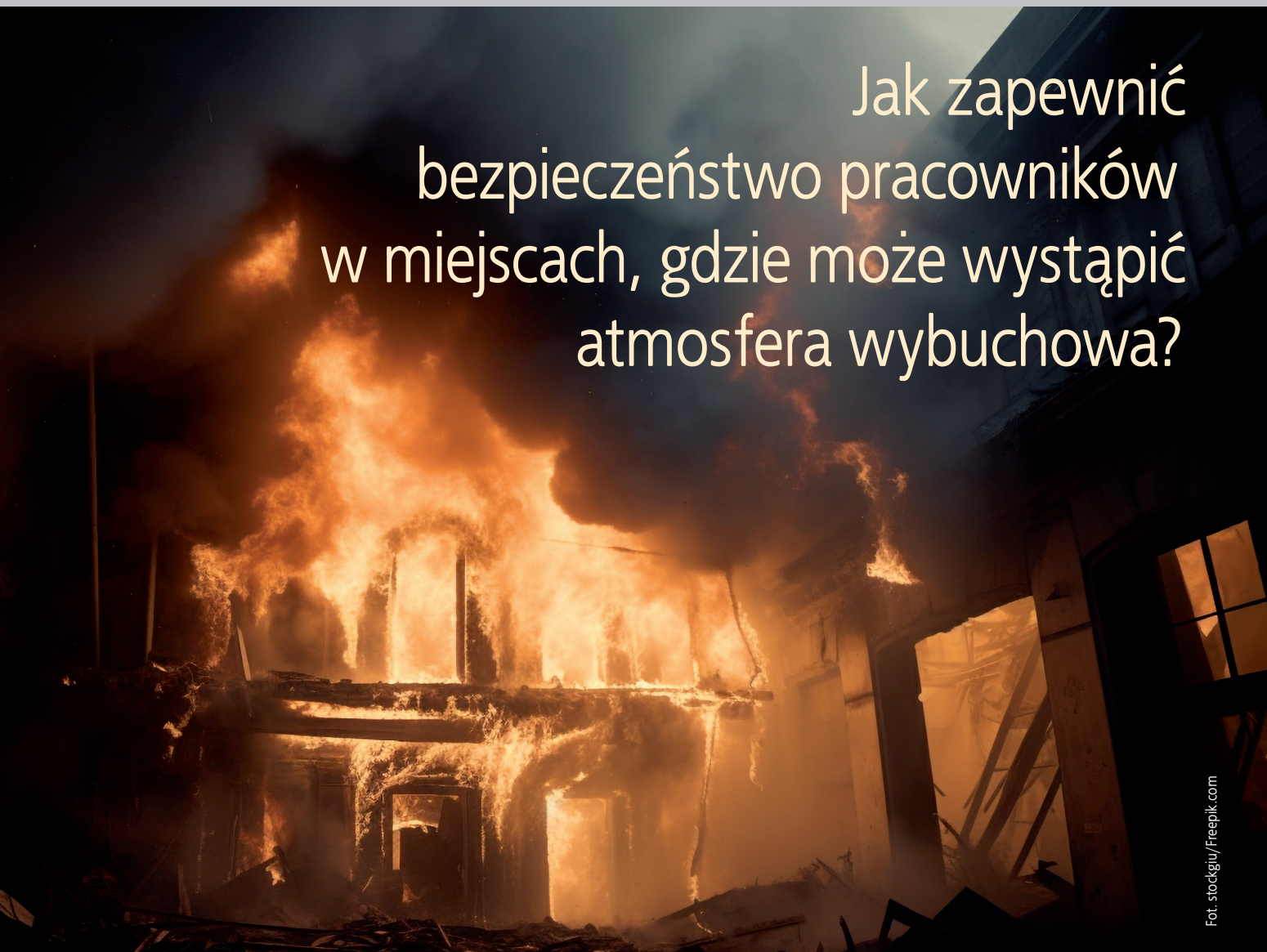


Jak zapewnić bezpieczeństwo pracowników w miejscach, gdzie może wystąpić atmosfera wybuchowa?



Fot. stockgu/freepik.com

Podczas pracy pracownicy są narażeni na wiele zagrożeń – od najmniej widocznych, tj. wirusów i bakterii, do ekstremalnie niebezpiecznych katastrof przemysłowych. W artykule skoncentrowano się na wybuchach w zakładach przemysłowych oraz na czynnikach wpływających na ich powstanie, aby pracodawcy i pracownicy byli w stanie zniwelować ewentualne zagrożenie.

Pracodawcy lub pracownicy mogą nie być świadomi, że pyły lub pary, które są przesyłane rurociągami lub odfiltrowywane w filtrach, stwarzają ryzyko wybuchu. Dzieje się tak, ponieważ substancje te otaczają nas w życiu codziennym i – na podstawie własnych doświadczeń – nie widzimy w nich zagrożenia. Warto jednak zaznaczyć, że każda substancja palna, gdy zostanie odpowiednio rozdrobniona oraz wymieszana z tlenem z powietrza, może spowodować wybuch w instalacji procesowej¹. Istnieje też grupa substancji, które w formie bryły są niepalne, jednak w postaci pyłu mogą stworzyć atmosferę wybuchową². Do takich substancji należą przede wszystkim metale i ich stopy. Najprostszą wizualizacją różnic pomiędzy paleniem a wybuchem jest porównanie trójkąta spalania z pięciokątem wybuchu (rys. 1).

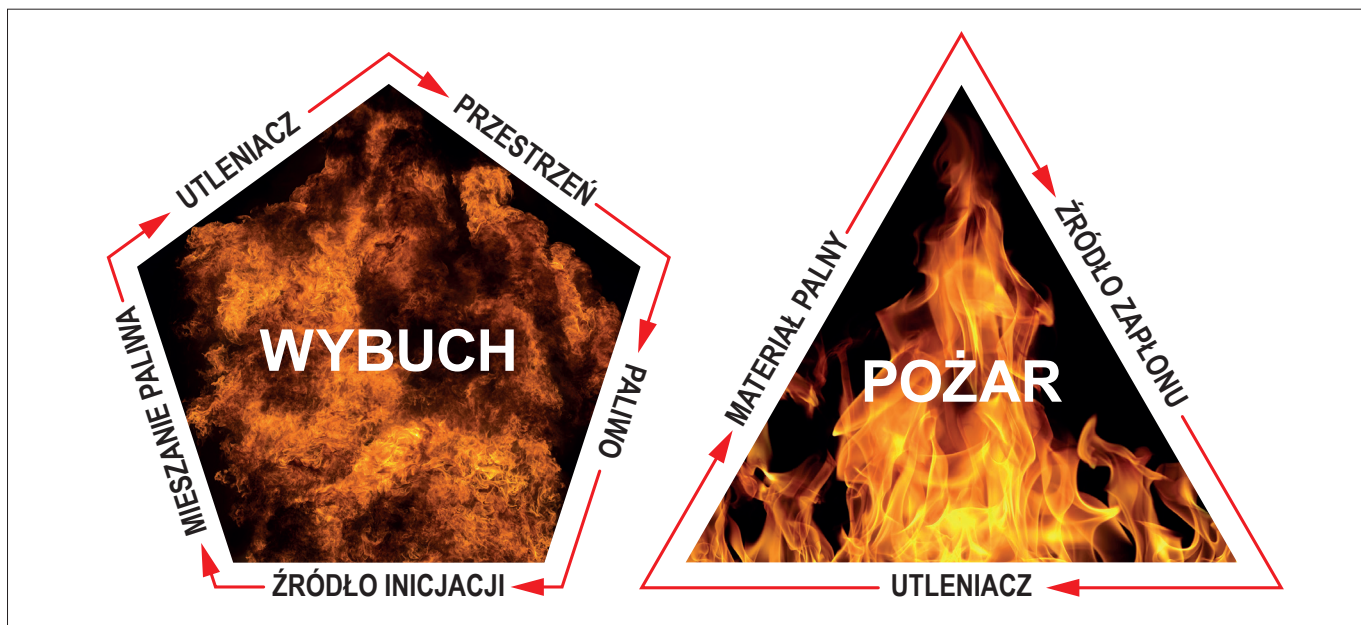
¹ I.M. Fanebust, N. Fernandez-Anez. Influence of particle size and moisture content of wood particulates on deflagration hazard. 2019.

² W. Domański. Pyłowe atmosfery wybuchowe. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2016, 7: 14-17.

Warunki, jakie muszą zostać spełnione, aby mogło dojść do spalania, zostały przedstawione na trójkącie spalania. Zazwyczaj utleniaczem będzie tlen z powietrza. Jeśli więc materiały wykorzystywane w procesie technologicznym są palne, to jedyną możliwością uniknięcia pożaru jest na ogół ograniczenie do minimum możliwości wystąpienia efektywnego źródła zapłonu, zdolnego do zainicjowania spalania. W przypadku wybuchów zawsze w pierwszej kolejności musi nastąpić zapłon materiału, a gdy zostaną spełnione pozostałe warunki, może nastąpić wybuch. Aby do tego doszło, potrzebne jest odpowiednie wymieszanie paliwa z utleniaczem (powietrzem), dzięki czemu reakcje spalania będą zachodziły wystarczająco szybko. Konieczne jest również ograniczenie przestrzeni spalania, aby w jego trakcie rosło ciśnienie pod wpływem wzrostu temperatury i ilości gazowych produktów spalania. Gdy ciśnienie osiągnie wartość przekraczającą wytrzymałość elementu instalacji procesowej, następuje jego rozerwanie i uwolnienie strumienia płomienia, palących się cząstek oraz produktów spalania, które mogą być toksyczne.

Czy zagrożenie wybuchem w zakładach przemysłowych jest realne?

Obecnie istnieje wiele skutecznych zabezpieczeń powstrzymujących powstanie wybuchu lub minimalizujących jego skutki, jednak nie wszędzie są one stosowane, a niekiedy są nieodpowiednio dobrane lub funkcjonują bez procedur gwarantujących poprawność działania. Wszystkie systemy ochrony przed wybuchem mają chronić przed wybuchem pierwotnym. Gdy jednak



Rys. 1. Pięciokąt wybuchu oraz trójkąt spalania (fot. irontrybex/Bigstockphoto)

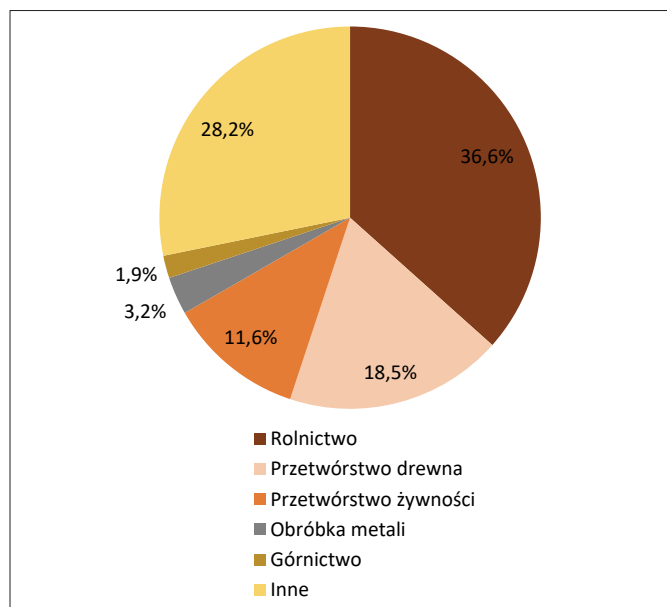
wskutek nieodpowiedniego zabezpieczenia instalacji lub niezachowania procedur bezpieczeństwa skutki wybuchu pierwotnego (strumień płomienia, palące się cząstki, fala podmuchowa) przedostaną się do innej części instalacji, gdzie występuje atmosfera wybuchowa, lub poza instalację, gdzie w wyniku podmuchu falą nadciśnienia może zostać wytworzona atmosfera wybuchowa, wówczas dochodzi do wybuchu wtórnego. W odpowiednich warunkach taki wybuch może zniszczyć całą instalację, a nawet cały zakład przemysłowy. Niestety, co jakiś czas pojawiają się informacje o nowych przypadkach wybuchu pyłu w Polsce lub za granicą.

W Combustible Dust Incident Report 2021³ zebrano dane na temat gałęzi przemysłu, w których najczęściej dochodzi do pożarów i wybuchów pyłów (rys. 2).

W Polsce jedynie Wyższy Urząd Górniczy zbiera dane dotyczące katastrof w sektorze górniczym (ostatni wybuch pyłu węglowego, zapoczątkowany wybuchem metanu, miał miejsce 13 stycznia 2008 r. w KWK „Mysłowice-Wesoła”) – poza tym nie prowadzi się statystyk dotyczących wybuchów i pożarów w instalacjach procesowych, a źródłem informacji o tych zdarzeniach często są wyłącznie lokalne gazety.

Tymczasem w ostatnich latach w naszym kraju zdarzyło się kilka wybuchów i pożarów pyłów. W zakładzie przetwórstwa drewna w Morągu w 2022 r. doszło do pożaru obrabiarki, a następnie do wybuchu instalacji filtracyjnej i zbiornika na pył drewna. W 2021 r. w firmie produkującej pellet w Wilczy nastąpił wybuch pyłu drewna, wskutek czego uszkodzeniu uległy ściany zewnętrzne dwukondygnacyjnego murowanego budynku. W tym samym roku w Piszcu doszło do wybuchu i pożaru pyłu drewna oraz trocin w zbiorniku przesyłowym i rurociągu technologicznym przesyłającym trociny z hali produkcyjnej. W 2020 r. w fabryce mebli giętych Radomsku zapaliła się jedna z hal, po czym nastąpił wybuch w rurociągach transportujących pył do filtrów i filtrów powietrza, a w blachowni w Kędzierzynie-Koźlu doszło do wybuchu pyłu magnezowego i częściowego zawalenia się jednej z hal.

Kwestie dotyczące zabezpieczeń przed wybuchem reguluje rozporządzenie w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej⁴. Jak jednak wskazują wyniki kontroli, przeprowadzonych przez Państwową Inspekcję Pracy (PIP) w latach 2020-2022, bezpieczeństwo w zakładach, w których może występować atmosfera wybuchowa, powinno być



Rys. 2. Udział poszczególnych gałęzi przemysłu w pożarach i wybuchach pyłów

wyższe. Okazuje się bowiem, że 29% zakładów produkcyjnych kontrolowanych w 2020 r. nie przeprowadziło oceny ryzyka związanego z możliwością wystąpienia atmosfery wybuchowej, a ponad 30% nie posiadało dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem (DZPW)⁵, natomiast w przedsiębiorstwach, które te dokumenty sporządziły, nierzadko występowały poważne nieprawidłowości związane z bezpieczeństwem pracowników. Co prawda porównanie wyników kontroli przeprowadzonych w ostatnich latach z wynikami z lat 2013-2015^{6,7,8} świadczy o znaczącej poprawie, jednak PIP wskazuje na potrzebę dalszego zwiększania bezpieczeństwa w tych firmach, w których może wystąpić atmosfera wybuchowa. Konieczne są zmiany legislacyjne, m.in. doprecyzowanie wymagań wobec osób dokonujących weryfikacji miejsc zagrożonych ryzykiem wystąpienia atmosfery wybuchowej.

³ C. Cloney. 2021 Combustible Dust Incident Report – Version 1. DustEx Research Ltd., 2022.

⁴ Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (Dz.U. nr 138, poz. 931).

⁵ Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2020 roku. Warszawa: PIP, 2021.

⁶ Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2013 roku. Warszawa: PIP, 2014.

⁷ Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2014 roku. Warszawa: PIP, 2015.

⁸ Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2015 roku. Warszawa: PIP, 2016.

Jak zapobiegać powstawaniu atmosfery wybuchowej i eliminować źródła zapłonu?

W celu zabezpieczenia zakładu przemysłowego przed wybuchem należy w pierwszej kolejności zapobiegać tworzeniu się atmosfery wybuchowej w miejscu pracy. Niestety, w przypadku niektórych procesów może się to okazać niemożliwe – wtedy trzeba przynajmniej ograniczyć możliwość powstania atmosfery wybuchowej w pozostałych miejscach. Przede wszystkim należy zadbać o szczelność instalacji procesowej, aby nie tworzyły się wycieki palnych par lub pyłów. W przypadku palnych pyłów należy zapewnić czystość hali, aby uniemożliwić wytworzenie się atmosfery wybuchowej po wzbiciu się zalegającego pyłu.

Kolejnym krokiem powinno być zapobieganie zapłonowi atmosfery wybuchowej, co wymaga wyeliminowania źródeł jej zapłonu. Te źródła mogą być różne, a zarazem istnieje wiele scenariuszy, w których te źródła mogą się pojawić, dlatego warto wspomnieć o niektórych opisywanych w PN-EN 1127-1:2019⁹.

Gorące powierzchnie stwarzają zagrożenie nie tylko jako źródło zapłonu atmosfery wybuchowej, lecz także jako źródło zapłonu warstw pyłu zalegającego na urządzeniach. Palący się pył może doprowadzić do zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej. Badania wykazały, że wartości temperatury zapłonu dla warstwy pyłów drewna są o ok. 100°C niższe niż dla obłoków pyłów¹⁰. Oznacza to, że temperatura powierzchni bezpieczna dla obłoku pyłu może doprowadzić do zapłonu warstw pyłu, a jako kolejne źródło zapłonu, czyli płomień – zainicjować spalanie mieszaniny pyłowo-powietrznej.

Płomień i gorące gazy, w tym gorące cząsteczki, są jednym z najgroźniejszych źródeł zapłonu. Temperatura nawet małego płomienia może przekraczać 1000°C, co wystarczy do zapłonu atmosfery wybuchowej. Dodatkowo powstające gorące gazy mają możliwość wzbicia w górę pływających cząstek, które mogą pokonać pewien dystans, zanim wygasną. Cząstki te mogą się przedostać do innych przestrzeni, gdzie może wystąpić atmosfera wybuchowa. Podobne zagrożenie ze swobodnie przemieszczającym się źródłem zapłonu pojawia się podczas prac związanych z cięciem i ze spawaniem. Powstające iskry mogą doprowadzić do zapłonu obłoku pyłu. Ważne jest zatem zabezpieczenie nie tylko miejsca, gdzie może wystąpić atmosfera wybuchowa, lecz także stref, w których pojawienie się płomienia, gorących gazów lub cząstek stwarza ryzyko zapłonu atmosfery wybuchowej.

Uderzenia mechaniczne, tarcie i ścieranie sprawiają, że elementy ruchome tracą swoją energię mechaniczną, która jest uwalniana na sposób ciepła. Elementy poddawane tarcia i uderzeniom nagrzewają się, podobnie jak znajdujące się pomiędzy nimi cząstki. Wzrost temperatury może doprowadzić do zapłonu części z tych palnych cząstek, a w konsekwencji do zapłonu atmosfery wybuchowej. W niektórych przypadkach uderzenie lub tarcie może spowodować oderwanie się cząstek od stalowej części mechanizmu, a zarówno zwiększenie powierzchni cząstki, jak i wzrost temperatury mogą doprowadzić do zapłonu cząstki i w konsekwencji do zapłonu atmosfery wybuchowej. Ważne są zachowanie poprawnego działania wszelkich mechanizmów urządzeń pracujących w atmosferze wybuchowej oraz ich regularne przeglądy i konserwacja.

Urządzenia i komponenty elektryczne znajdujące się w strefie, gdzie może wystąpić atmosfera wybuchowa, muszą być konstruowane, produkowane, badane i oznakowane zgodnie z rozporządzeniem w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej¹¹, wprowadzającym do polskiego prawa dyrektywę ATEX¹², oraz z normami, m.in. grupą norm PN-EN IEC 60079. Chodzi nie tylko o urządzenia elektryczne znajdujące się w strefach, gdzie może wystąpić

atmosfera potencjalnie wybuchowa, lecz także o urządzenia elektryczne sterujące elementami instalacji znajdującej się w strefie zagrożenia.

Elektryczność statyczna stwarza ryzyko powstania wyładowania elektrycznego, zdolnego do zainicjowania zapłonu atmosfery wybuchowej. Nagromadzenie ładunków elektrostatycznych może wystąpić w przypadku wymuszania ruchu pylistego materiału organicznego. Gromadzeniu się ładunków elektrostatycznych należy zapobiegać przez odpowiednie uziemienie instalacji procesowej oraz wykonanie wszelkich jej elementów z materiałów niebędących naturalnymi przewodnikami i z wykorzystaniem technologii antystatycznej¹³.

Poza opisanymi źródłami zapłonu zagrożenie mogą stwarzać inne zjawiska, do których zalicza się np.: wyładowania atmosferyczne, oddziaływanie fal elektromagnetycznych, sprężanie adiabatyczne, egzotermiczne reakcje chemiczne lub samozapłon. Warto pamiętać, że w zakładzie produkcyjnym nie muszą występować wszystkie wymienione źródła zapłonu i że nie każdy bodziec inicjujący zapłon jest w stanie doprowadzić do zapłonu danej atmosfery wybuchowej.

Z uwagi na mnogość źródeł zapłonu pracodawca nie zawsze jest w stanie wyeliminować ryzyko zapłonu atmosfery wybuchowej. Zdarza się też, że zabezpieczenie przed zapłonem atmosfery wybuchowej jest zbyt kosztowne lub nieopłacalne finansowo. Wtedy należy zastosować odpowiednie rozwiązania ograniczające szkodliwe efekty wybuchu, np. instalacje odciążające wybuch, które w kontrolowany i bezpieczny sposób uwalniają powstały płomień i nadciśnienie do atmosfery. Ważna jest również izolacja elementów instalacji procesowej przed wybuchem, zapobiegająca wybuchowi wtórnemu, który jest znacznie bardziej niebezpieczny. Do tego służą m.in. klapy zwrotne, zasuwki szybkozamkające czy systemy tłumiące wybuch. Systemy tłumiące wybuch stosuje się w dwóch celach: do ograniczenia zapłonu w elemencie instalacji, w której jest atmosfera wybuchowa, oraz do izolacji połączonych urządzeń, w których może dojść do wybuchu wtórnego¹⁴.

Podsumowanie

Wszędzie tam, gdzie może występować atmosfera wybuchowa, istnieje ryzyko jej zapłonu. Jak wskazano w artykule, skutki wybuchu mogą objąć całe hale i ich otoczenie oraz stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia pracowników. Zadaniem pracodawcy jest zredukowanie ryzyka zapłonu atmosfery wybuchowej do minimum lub zapewnienie rozwiązań mających na celu ograniczenie skutków wybuchu. Wyniki kontroli PIP wskazują, że świadomość pracodawców na temat zagrożeń, jakie stwarza atmosfera wybuchowa w miejscu pracy, wciąż jest niewystarczająca. Ponadto konieczne jest określenie wymagań wobec osób, którym powierza się zabezpieczanie miejsc pracy przed zagrożeniami stwarzanymi przez atmosferę wybuchową. Dzięki temu pracodawca zyska pewność, że osoba przygotowująca DZPW ma niezbędną wiedzę w tym zakresie i potrafi określić zagrożenia w miejscu pracy. Warto też pamiętać, że aby zminimalizować ryzyko związane z wybuchem w miejscu pracy, poza odpowiednimi zabezpieczeniami i systemami ochronnymi potrzebne są skuteczne procedury bezpieczeństwa.

mgr inż. Jan Przybysz
dr inż. Monika Borucka
dr inż. Kamila Mizera
dr Agnieszka Gajek

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Kontakt: jan.prybysz@ciop.pl

Opracowano i wydano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy” (zadanie nr 5.ZS.02 pt. „Rozwój serwisu informacyjnego nt. przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym”), finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej (do 12 grudnia 2023 r. – pn. Ministerstwo Rodziny i Polityki Społecznej). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

⁹ PN-EN 1127-1:2019. Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.

¹⁰ J. Przybysz i in. Flammability and explosion characteristics of hardwood dust. Journal of Fire Sciences. 2023, 41(3): 89-101; doi: 10.1177/07349041231168554.

¹¹ 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. poz. 817).

¹² Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (wersja przekształcona) (Tekst mający znaczenie dla EOG) (Dz. Urz. UE L 96 z 29 marca 2014 r., s. 309-356).

¹³ J. Przybysz, M. Celiński. Ograniczenie zagrożenia pożarem i wybuchem pyłu drewna występującego w przemyśle przetwórstwa drewna. Warszawa: CIOP-PIB, 2022.

¹⁴ J. Taveau. Application of Dust explosion protection systems. Procedia Engineering. 2014, 84: 297-305; doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.438.