

inż. Jakub Bielawski

Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej

DOI: 10.5604/01.3001.0014.4266

Zagrożenia pożarowo-wybuchowe związane z elektrostatycznym nanoszeniem powłok z tworzyw sztucznych

Abstrakt

W niniejszym artykule przedstawiono zagrożenia pożarowo-wybuchowe występujące podczas nanoszenia powłok metodą elektrostatyczną, przedstawiono przebieg operacji oraz charakterystykę farb proszkowych jako materiału palnego. Zidentyfikowano potencjalne źródła zapłonu, które mogą zainicjować pożar warstwy pyłu lub wybuch mieszaniny pyłowo-powietrznej. Przedstawiono minimalne wymagania i rekomendacje podnoszące poziom bezpieczeństwa w obszarze instalacji lakierniczej.

Słowa kluczowe: zagrożenie pożarowe, zagrożenie wybuchowe, elektryczność statyczna, farba proszkowa

Przyjęty: 24.06.2020; Zrecenzowany: 09.09.2020; Zatwierdzony: 18.09.2020

Fire and Explosion Hazards Associated with Electrostatic Powder Coating

Abstract

This paper presents fire and explosion hazards during electrostatic powder coating, and describes the course of the process as well as the characteristics of powder coating as a combustible material. Potential sources of ignition that could initiate a fire of a dust layer or an explosion of a dust-air mixture have been identified. The minimum requirements and recommendations raising the level of safety in the area of coating installations are presented.

Keywords: fire hazard, explosion hazard, static electricity, powder coating

Received: 24.06.2020; Reviewed: 09.09.2020; Accepted: 18.09.2020

Загрози пожежі та вибуху пов'язані з електростатичним нанесенням пластикових покриттів

Анотація

У цій статті представлені загрози пожежі та вибуху, що виникають під час нанесення покриттів електростатичним методом. Представлено перебіг операцій та властивості порошкових фарб як горючого матеріалу. Визначено потенційні джерела займання, які можуть спричинити загоряння пилового шару або вибух пилоповітряної суміші. Представлено мінімальні вимоги та рекомендації, що підвищують рівень безпеки в зоні накладання фарби.

Ключові слова: загроза пожежі, загроза вибуху, статична електрика, порошкове фарба

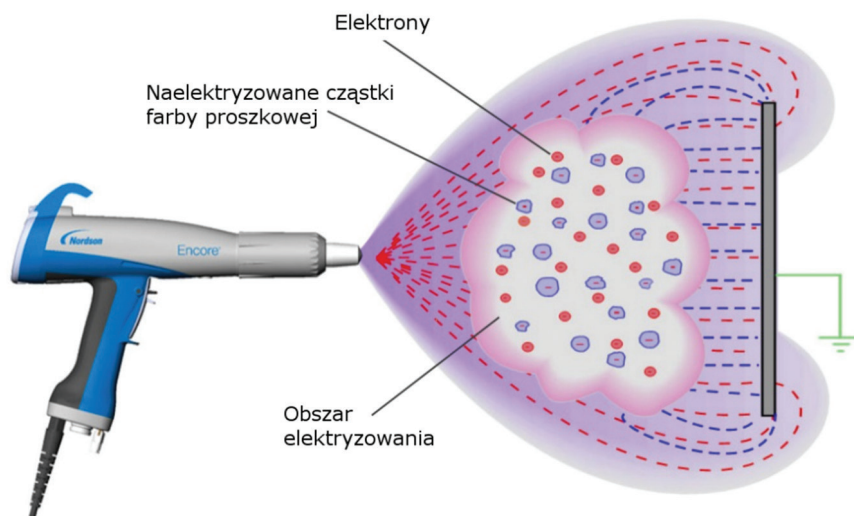
Прийнятий: 24.06.2020; Рецензованої: 09.09.2020; Затверджений: 18.09.2020

1. Wprowadzenie

W wielu gałęziach przemysłu związanych z produkcją masową oczekuje się odpowiednich właściwości powierzchni wyrobów w zakresie ochrony przed korozją atmosferyczną, własności mechanicznych lub walorów estetycznych. Jednym z najbardziej rozpowszechnionych sposobów zabezpieczenia gotowych elementów jest nanoszenie powłok ochronnych metodą elektrostatyczną. W tym celu wykorzystywane są farby proszkowe na bazie tworzyw termoplastycznych lub termoutwardzalnych. Polimeryczne materiały powłokowe nie zawierają ciekłych substancji palnych, tj. rozpuszczalników lakierniczych. Metoda elektrostatyczna ma szeroki zakres zastosowań, m.in. przy zabezpieczeniu mebli, artykułów gospodarstwa domowego, stalowych elementów konstrukcyjnych, zbiorników ciśnieniowych oraz elementów urządzeń elektrycznych. W czasie procesu technologicznego możliwe jest uformowanie warstwy palnego pyłu. Zjawisko wybuchu lub pożaru stanowi bezpośrednie zagrożenie dla życia i zdrowia operatorów urządzeń malarskich. Niniejszy artykuł stanowi ogólne przedstawienie występujących zagrożeń oraz podstawowych środków ochronnych.

2. Opis procesu nanoszenia powłok

Nanoszenie farby proszkowej jest procesem związanym z ciągłym występowaniem pola elektrostatycznego wytworzonego pomiędzy elektrodą na głowicy urządzenia do napyłania oraz uziemionym powlekanym elementem. Do urządzeń malarskich doprowadzone jest napięcie stałe o wartości 40–100 kV dla pistoletów ręcznych oraz do 150 kV dla urządzeń automatycznych. Elektryzacja cząstek tworzywa powłokowego zachodzi pod wpływem styku z powierzchnią głowicy oraz zjonizowanym powietrzem, indukcji, a także adsorpcji jonów w rozpylanej chmurze. Na rysunku 1 przedstawiono ogólny schemat nanoszenia powłok z tworzyw sztucznych na uziemiony element.



Rys. 1. Ogólny szkic nanoszenia powłok metodą elektrostatyczną

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

Na skutek wystąpienia dużej różnicy potencjałów elektrycznych w przestrzeni pomiędzy głowicą pistoletu i powlekanego przedmiotu molekuly powietrza ulegają jonizacji. Obecność pola elektrostatycznego wpływa na ruch naelektryzowanych cząstek. W wyniku pojawienia się cząstki farby proszkowej w obszarze oddziaływania jonów powietrza następuje gromadzenie się ładunków elektrycznych na jej powierzchni [3]. Punktowy ładunek elektryczny pojedynczej cząstki farby proszkowej jest zależny od właściwości dielektrycznych tworzywa sztucznego, natężenia pola elektrycznego oraz kształtu i średnicy, zgodnie ze wzorem [1]:

$$q = k \cdot E \cdot r^2$$

q – ładunek elektryczny [C];

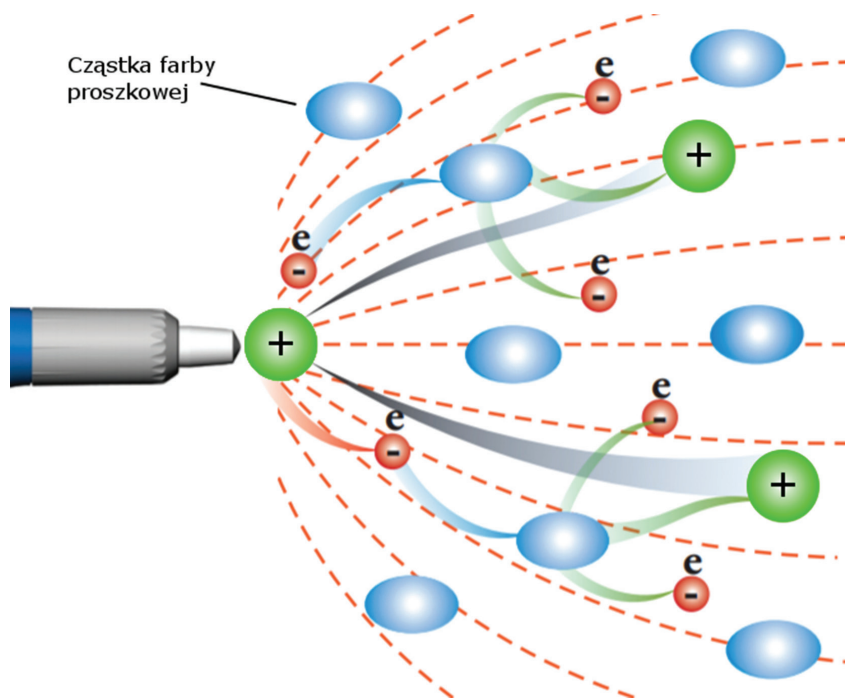
k – współczynnik ($k = \frac{3\epsilon}{\epsilon + 2}$) [-];

ϵ – stała dielektryczna tworzywa sztucznego [F/m];

E – natężenie pola [N/C];

r – promień cząstki [m].

Ogólny schemat bombardowania jonowego cząstek farby proszkowej w czasie napyłania przedstawiono na rysunku 2.



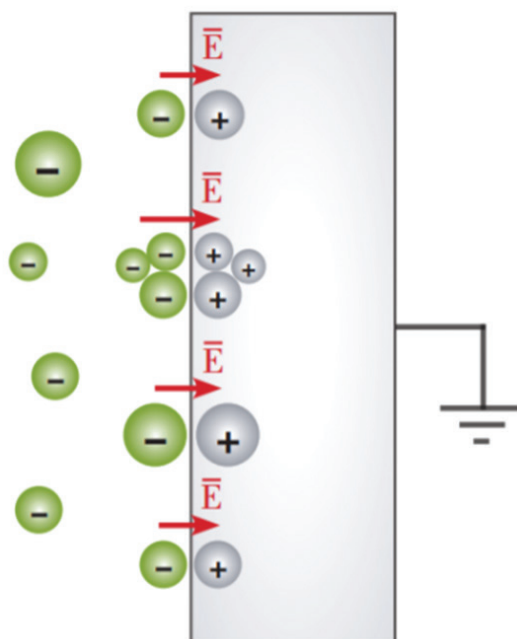
Rys. 2. Elektryzacja cząstek farby proszkowej podczas napyłania

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

Siły pola elektrostatycznego kierują naelektryzowane cząstki wzdłuż linii pola, umożliwiając tym samym ich transport. Warunkiem koniecznym do osadzania się farby proszkowej jest występowanie uziemionego powlekanego elementu, który stanowi

biegun dodatni, wewnątrz linii pola. Jeżeli powlekany element znajdzie się w zbyt dużej odległości od głowicy urządzenia malarskiego, może nastąpić skierowanie strumienia rozpylanej farby na to urządzenie lub operatora. Prędkość przepływu cząstek proszku wynosi ok. 2 m/s i jest wypadkową prędkości przepływu strumienia powietrza i prędkości ruchu wywołanego działaniem sił pola elektrostatycznego [1].

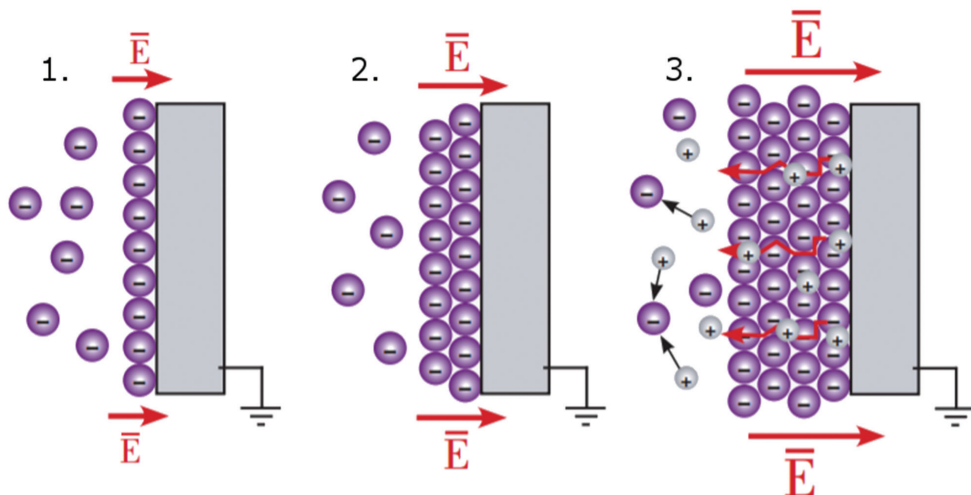
Osadzanie się proszku na powierzchni elementu trwa do momentu, gdy siła przyciągania cząstek przez uziemiony element zostanie zrównoważona przez sumę sił odpychających, działających pomiędzy naelektryzowanymi ziarnami [1]. Ogólny mechanizm osadzania się naelektryzowanych cząstek farby proszkowej przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Mechanizm formowania powłoki

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

W przypadku kontynuowania operacji zaburzony zostanie stan równowagi elektrycznej powłoki. Elektrony nie zostaną odprowadzone, ponieważ naelektryzowane cząstki nie będą osiadać na powierzchni powlekanego elementu, formując przy tym coraz grubsza warstwę powłoki. Może to doprowadzić do gwałtownych odprysków pojedynczych ziaren lub skupisk farby proszkowej od elementu [1]. Ogólny przebieg powyższego zjawiska przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Tworzenie się warstwy zjonizowanych cząstek

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

Istotnym czynnikiem jest granulacja pyłu, która wpływa znacząco na zdolności dyspersji oraz formowania powłok. Optymalne parametry przyczepności powłok uzyskuje się, stosując farby proszkowe o średnicy cząstek w zakresie 40–100 μm [1]. Poniżej podanego zakresu możliwe jest formowanie skupisk lub zbryleń w pojemnikach oraz silny rozprysk w czasie nanoszenia. Natomiast podczas napyłania cząstek o średnicach powyżej 100 μm odnotowuje się odpadanie od powierzchni przedmiotu pojedynczych ziaren lub skupisk [1]. Na rysunku 5 przedstawiono nanoszenie powłok metodą elektrostatyczną przez operatorów w kabinie malarskiej.

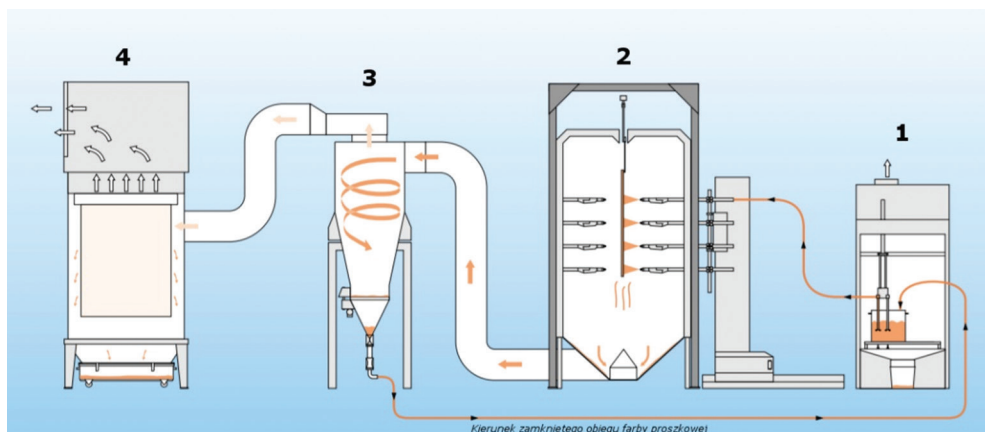
Nadmiar rozpylonej farby proszkowej trafia do zamkniętego układu odzyskowego, który składa się kolejno z cyklonu oraz filtra powietrza. Ruch nieosadzonych cząstek wywołany jest przepływem powietrza za pomocą odciągowej wentylacji mechanicznej z przestrzeni kabiny malarskiej. Funkcją cyklonu jest separacja farby proszkowej od zasysanego powietrza na skutek działania siły odśrodkowej. Wytrącony proszek jest podawany do układu zasilania kabiny proszkowej do ponownego użytku w operacji napyłania [1]. Zasysane powietrze przepływa następnie do filtra, gdzie następuje jego końcowe oczyszczenie. Cząstki farby proszkowej osadzają się na wkładach lub workach filtracyjnych, natomiast powietrze przepływa przez ich strukturę [3]. Na rysunku 6 przedstawiono schemat typowej instalacji do elektrostatycznego nanoszenia powłok z tworzyw sztucznych, która składa się z układu zasilającego w farbę proszkową (1),

kabiny malarskiej wyposażonej w automatyczne urządzenia malarskie (2), cyklonu (3) oraz filtra powietrza (4).



Rys. 5. Nanoszenie powłok urządzeniami ręcznymi przez operatorów

Źródło: [11]



Rys. 6. Schemat typowej instalacji malarskiej

Źródło: [10]

3. Zagrożenia pożarowo-wybuchowe związane wykorzystaniem farb proszkowych

W operacji nanoszenia powłok z tworzyw sztucznych metodą elektrostatyczną, należy rozpatrywać zagrożenie zainicjowania reakcji spalania warstwy osiadłej proszku, co może doprowadzić do powstania pożaru. Należy również przeanalizować zagrożenie wystąpienia wybuchu z uwagi na obecność rozpylonej chmury farby proszkowej.

Warunkiem powstania pożaru jest jednoczesna obecność trzech czynników: paliwa, utleniacza i źródła zapłonu. W przypadku wybuchu możliwe jest dodatkowo wystąpienie mieszaniny o stężeniu pomiędzy dolną i górną granicą wybuchowości, a także ograniczonej przestrzeni.

3.1. Charakterystyka paliwa

Farby proszkowe, to kompozycje materiałów z tworzyw sztucznych i dodatków o określonej granulacji, stosowane do naniesienia na daną powierzchnię, w celu utworzenia ściśle przylegającej powłoki o określonej grubości oraz oczekiwanych własnościach chemicznych i mechanicznych.

Głównym składnikiem farb proszkowych są polimeryczne związki wielocząsteczkowe. Struktura polimerów składa się z określonych cząsteczek wyjściowych, tzw. „monomerów”, połączonych między sobą siłami fizycznymi. Stopień polimeryzacji jest parametrem, który określa liczbę monomerów w cząsteczce i dla tworzyw sztucznych ma zwykle wartość powyżej 1000. Na podstawie struktury makrocząsteczek wyróżnia się wykorzystywane tworzywa termoplastyczne, tj. polietylen, poliamid, polichlorek winylu, bituminy, kompozycje bitumiczno-epoksydowe, poliwęglan oraz tworzywa termoutwardzalne, tj. żywica epoksydowa, żywica poliestrowa, żywica alkidowa, żywica akrylowa. Strukturę farby proszkowej tworzą także utwardzacze, których zastosowaniem jest sieciowanie polimeru podczas wypiekania, pigmenty służące do zapewnienia wybranej barwy produktu oraz inne dodatki wpływające na właściwości farby, tj. stabilizatory UV.

Wymagania stawiane tworzywom powłokowym do nanoszenia metodą elektrostatyczną określają wartości parametrów rezystywności i przenikalności elektrycznej. Rezystywność powinna zawierać się w przedziale od 10^4 do $5 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$. Poniżej tego zakresu spada przyczepność elektrostatyczna i następuje odpadanie cząstek pod wpływem działania siły ciężkości, natomiast gdy rezystywność przekracza $5 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$,

powstaje pole elektrostatyczne o wysokim natężeniu i może wystąpić miejscowe samoistne wyładowanie iskrowe. Wysoka wartość przenikalności elektrycznej charakteryzuje się silniejszym oddziaływaniem pola na ładunek oraz zmniejsza tendencję do rozładowania cząstek w powietrzu.

Farby proszkowe w postaci rozpylonej tworzą z powietrzem pyłowe atmosfery wybuchowe. Na podstawie przeprowadzonych badań dotyczących farb na bazie żywic poliestrowych i epoksydowych, określono następujące wnioski dotyczące udziału procentowego składników na parametry wybuchowości. Dla wszystkich badanych próbek odnotowano zbliżone wartości maksymalnego ciśnienia wybuchu. Wartość maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu maleje wraz ze wzrostem zawartości barwnika i rozmiarem cząstek. Wartość minimalnej energii zapłonu wzrasta wraz z rozmiarami cząstek. Wartość dolnej granicy wybuchowości wzrasta proporcjonalnie wraz ze wzrostem zawartości barwnika [4].

Uwzględniając różnorodność kompozycji i składu procentowego, powinno się określić parametry pożarowo-wybuchowe indywidualnie dla każdej farby proszkowej. Typowe wartości dolnej granicy wybuchowości dla farb proszkowych mieszczą się w zakresie 20–70 g/m³ [5]. W przypadku braku informacji na temat wartości DGW danej farby proszkowej można założyć wartość 20 g/m³ [6]. Na podstawie badań odnotowano typowy zakres wartości minimalnych energii zapłonu farb proszkowych w przedziale 3–20 mJ [4]. Właściwości wybuchowe wybranych farb proszkowych z bazy danych normy NFPA 33:2018 przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry wybuchowości wybranych farb proszkowych

Lp.	Bazowy polimer farby proszkowej	Współczynnik K_{st}	Klasa wybuchowości pyłu	Maks. ciśnienie wybuchu	Dolna granica wybuchowości	Temp. samozapłonu obłoku pyłu
		m·bar/s	–	bar	g/m ³	°C
1.	Żywica epoksydowa	152	St 1	6,7	95	500
2.		194	St 1	7,5	60	477
3.		228	St 2	8,1	45	472
4.	Żywica poliestrowa	204	St 2	8,3	75	458
5.		154	St 1	8,1	65	457
6.		70	St 1	6,5	70	446
7.*		177	St 1	8,1	65	452
8.*		148	St 1	7,6	60	464
9.*		184	St 1	8	50	460

cd. Tab. 1.

Lp.	Bazowy polimer farby proszkowej	Współczynnik K_{st}	Klasa wybuchowości pyłu	Maks. ciśnienie wybuchu	Dolna granica wybuchowości	Temp. samozapłonu obłoku pyłu
		m-bar/s	–	bar	g/m ³	°C
10.	Żywica epoksydowo-poliestrowa	149	St 1	7,6	45	472
11.		101	St 1	6,5	115	478
12.		152	St 1	7,2	115	475
13.*		189	St 1	8,2	45	482

* Farba proszkowa zawierająca mniej niż 10% pigmentów na bazie aluminium.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [9]

3.2. Dostępność utleniacza

W normalnych warunkach procesowych, gdzie w środowisku pracy obecni są operatorzy, utleniacz w postaci tlenu z powietrza atmosferycznego występuje zawsze. Wymuszony przepływ powietrza pełni także funkcję czynnika transportującego farbę proszkową i występuje we wszystkich aparatach technologicznych.

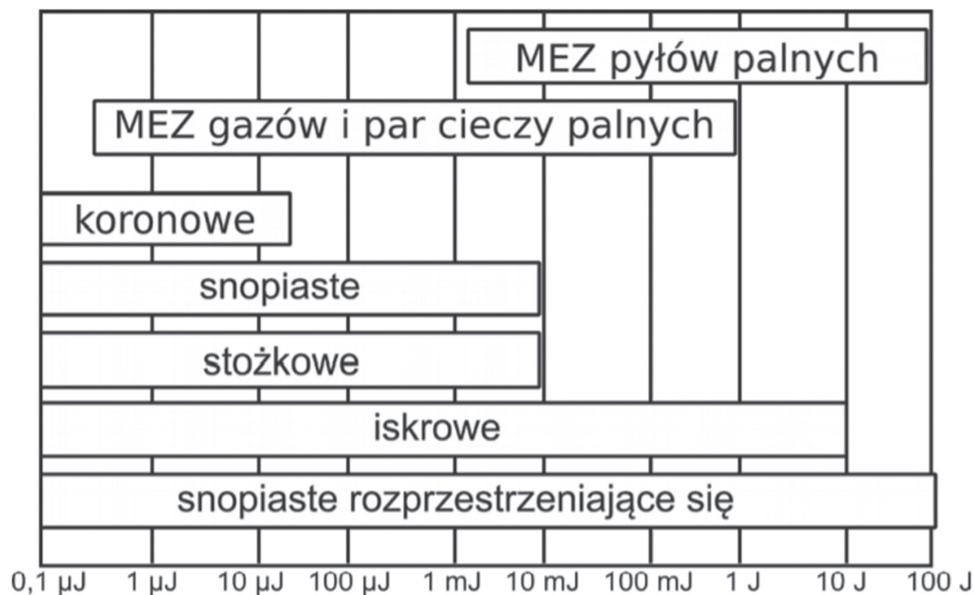
3.3. Charakterystyka źródeł zapłonu

Powinno się rozpatrywać szereg czynników, których wystąpienie może doprowadzić do zainicjowania pożaru lub wybuchu. Zgodnie z normą PN-EN 1127:2019-10 występuje 13 grup źródeł zapłonu, które należy przeanalizować. Uwzględniając środowisko pracy i parametry procesu elektrostatycznego nanoszenia powłok z tworzyw sztucznych, wytypowano następujące, najbardziej prawdopodobne efektywne źródła zapłonu [8]:

- gorące powierzchnie,
- płomień i gorące gazy (w tym gorące cząstki),
- iskra mechaniczna,
- urządzenia elektryczne,
- wyładowanie elektrostatyczne,
- reakcje egzotermiczne (w tym samozapłon pyłu).

Ciągłe wytwarzanie pola elektrostatycznego zwiększa prawdopodobieństwo zainicjowania zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej od wyładowania elektrostatycznego.

Pyłowe atmosfery wybuchowe charakteryzują się relatywnie dużą minimalną energią zapłonu, zdecydowanie większą od gazowych atmosfer wybuchowych. Nie każdy rodzaj wyładowania elektrostatycznego jest w stanie zainicjować wybuch mieszaniny pyłu palnego z powietrzem. Typowe wartości energii wydzielanych podczas danego rodzaju wyładowania z uwzględnieniem zdolności zapłonowych atmosfer wybuchowych przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Wartość wyzwalanej energii wyładowań elektrostatycznych oraz wartości MEZ substancji palnych

Źródło: [2]

Szczególne zagrożenie stanowi wyładowanie snopiaste rozprzestrzeniające się, którego energia wyładowania może sięgać rzędu kilku tysięcy dżuli i może zainicjować wybuch każdej atmosfery wybuchowej. W praktyce przemysłowej powyższy rodzaj wyładowania elektrostatycznego może wystąpić m.in. pomiędzy powierzchnią naelektryzowanego dielektryka, który pokrywa materiał przewodzący oraz powierzchnią zbliżającego się uziemionego obiektu przewodzącego lub przebicia powłoki dielektryka naniesionego na uziemioną, przewodzącą powierzchnię. Na podstawie badań i doświadczeń określono, że istnieje wiele czynników warunkujących zaistnienie tego

zjawiska. Powinno się przeanalizować możliwość wystąpienia wyładowania snopiastego rozprzestrzeniającego się jako potencjalnego źródła zapłonu, jeżeli [2]:

- gęstość powierzchniowa ładunku wynosi co najmniej $0,25 \text{ C/m}^2$,
- grubość warstwy dielektryka wynosi poniżej 10 mm,
- wytrzymałość dielektryczna materiału wynosi poniżej 4 kV/m.

3.4. Możliwość wystąpienia pożaru

Zagrożenie pożarowe związane jest z obecnością farby proszkowej w określonej przestrzeni jako efekt uboczny operacji napyłania lub na skutek awaryjnego rozsypu. Możliwe jest zainicjowanie reakcji spalania uformowanej warstwy pyłu od zewnętrznych źródeł zapłonu, tj. gorące powierzchnie, płomień, iskry generowane mechanicznie lub na drodze reakcji egzotermicznej poprzez samozapłon. Przyczyną wystąpienia może być czynnik ludzki w zakresie niezastosowania się do obowiązujących przepisów bhp i ppoż. zakładu lub niewłaściwie dobranych urządzeń elektrycznych i nieelektrycznych do pracy z pyłami palnymi. Potencjalny pożar może w bardzo krótkim czasie rozprzestrzenić się na skutek niewłaściwego składowania farby proszkowej.

3.5. Możliwość wystąpienia wybuchu

Zagrożenie wybuchowe występuje w większym stopniu niż zagrożenie pożarowe z uwagi na ciągły ruch cząstek farby proszkowej w obszarze kabiny malarskiej oraz układu odzyskowego. Ograniczenie przestrzeni oraz duży poziom dyspersji występuje wewnątrz aparatów technologicznych. Obecność pyłowej atmosfery wybuchowej oraz wystąpienie źródła zapłonu, tj. gorące powierzchnie, płomień, urządzenia elektryczne, wyładowanie elektrostatyczne lub iskry generowane mechanicznie, może doprowadzić do zainicjowania wybuchu. Powinno się uwzględnić szczególnie ochronę przed elektrycznością statyczną, aby wartość rezystancji uziemienia materiałów przewodzących nie przekraczała $1 \text{ M}\Omega$ [7]. Elektryzowanie cząstek występuje regularnie w czasie nanoszenia powłok oraz może wystąpić na skutek tarcia podczas pneumatycznego transportu w układzie odzyskowym lub w czasie napełniania elastycznych zbiorników na farbę proszkową.

4. Minimalne wymagania i zasady bezpieczeństwa

W celu wyeliminowania lub ograniczenia w dużym stopniu zagrożeń związanych z obecnością pyłowej atmosfery wybuchowej podczas elektrostatycznego nanoszenia powłok z tworzyw sztucznych powinno się przestrzegać podstawowych wymagań i zasad standardów technicznych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego [6, 7]:

- 1) organizacyjne środki ochronne:
 - a) operatorzy ręcznych urządzeń malarskich powinni być przeszkoleni i zapoznani z występującymi zagrożeniami,
 - b) w przypadku wystąpienia rozsypu powinno się bezzwłocznie przystąpić do jego usunięcia przy pomocy urządzeń dostosowanych do pracy z palnym pyłem, np. odkurzacza przemysłowego w wykonaniu przeciwwybuchowym,
 - c) powinno się wprowadzić bezwzględny zakaz palenia wyrobów tytoniowych oraz używania otwartego ognia na terenie zakładu,
 - d) powinno się dokonywać rutynowych przeglądów stanu uziemienia, a w przypadku rozłączenia przewodów dokonać pomiaru wartości rezystancji,
 - e) powinno się regularnie czyścić mocowania przeznaczone do powlekanych elementów w celu zapewnienia prawidłowego uziemienia elementu,
 - f) powinno się wyznaczyć strefy zagrożenia wybuchem w obszarze kabiny malarskiej i układu odzyskowego,
 - g) nie powinno się stosować tablic, osłon lub znaków z tworzyw sztucznych o grubości poniżej 10 mm lub wartości prądu przebicia poniżej 4 kV wewnątrz kabiny malarskiej,
 - h) powinno się podłączyć zbiorniki typu FIBC do uziemienia w czasie operacji napełniania lub opróżniania,
 - i) powinno się wyznaczyć parametry wybuchowości każdej farby proszkowej indywidualnie;
- 2) techniczne środki ochronne:
 - a) powinno się wyposażać kabinę malarską w system wykrywania ognia,
 - b) powinno się zapewnić wentylację odciągową z kabiny malarskiej o takiej wydajności, aby średnie stężenie farby proszkowej nie przekraczało 50% dolnej granicy wybuchowości,
 - c) powinno się eksploatować urządzenia elektryczne dostosowane do pracy w danej strefie zagrożenia wybuchem,

- d) powinno się rozważyć zabezpieczenie układu odzyskowego za pomocą systemów ochrony przed skutkami wybuchu,
- e) powinno się zapewnić uziemienie wszystkich elementów przewodzących w obszarze kabiny malarskiej o wartości rezystancji poniżej $1\text{ M}\Omega$,
- f) powinno się zapewnić posadzkę przewodzącą o wartości rezystancji poniżej $100\text{ M}\Omega$ w obszarze kabiny malarskiej,
- g) operatorzy ręcznych urządzeń malarskich powinni stosować środki ochrony indywidualnej o właściwościach antystatycznych,
- h) powinno się stosować wkłady/worki filtracyjne o właściwościach antystatycznych.

5. Podsumowanie i wnioski

Podczas operacji nanoszenia powłok z tworzyw sztucznych istnieje możliwość wystąpienia wybuchu lub pożaru. Specyfika procesowa wymusza ciągłe napyłanie, w konsekwencji czego prawdopodobne jest wystąpienie atmosfery wybuchowej w określonych przestrzeniach podczas rutynowej eksploatacji. Farby proszkowe na bazie polimerów termoplastycznych lub termoutwardzalnych są materiałami palnymi, a w mieszaninie z powietrzem formują atmosfery wybuchowe. Wytwarzanie pola elektrostatycznego za pomocą urządzeń zasilanych wysokim napięciem zapewnia warunki do wyładowań elektryczności statycznej. Mając na uwadze zagrożenia oraz ich wpływ na życie i zdrowie ludzi związanych z instalacjami malarskimi, powinno się zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa technicznego w zakresie odprowadzania ładunków elektrycznych oraz stanu urządzeń elektrycznych i nieelektrycznych. Wymagania regulacji prawnych i standardów technicznych dotyczą w szczególności sposobu ochrony przeciwybuchowej, natomiast wystąpienie pożaru jest również prawdopodobne i może stanowić bezpośrednie zagrożenie dla życia i zdrowia. W praktyce nie da się całkowicie wykluczyć wystąpienia efektywnego źródła zapłonu, dlatego duże znaczenie w utrzymaniu właściwego poziomu bezpieczeństwa ma wprowadzenie przeciwpożarowych i przeciwybuchowych systemów ochronnych do instalacji malarskich.

Bibliografia:

- [1] Kowalski Z., *Powłoki z tworzyw sztucznych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.
- [2] Ptak S., Smalcerz A., Ostrowski P., *Ocena ryzyka zapłonu atmosfer wybuchowych przez niezupelne wyładowania elektrostatyczne z naelektryzowanych dielektryków*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2019.
- [3] Moskal A., *Mechanika aerozoli*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017.
- [4] Eckhoff R.K., Pedersen G.H., *Ignitability and explosibility of polyester/epoxy resins for electrostatic powder coating*, "Journal of Hazardous Materials" 1988, nr 19, s. 1–16.
- [5] The BCF Code of Safe Practice: Powder Coating, *Application of coating powders by electrostatic spraying*, British Coating Federation, Leatherhead 2015.
- [6] PN-EN 16985:2019-02 Kabiny malarskie do natryskiwania organicznego materiału powlekającego – – Wymagania bezpieczeństwa.
- [7] PN-EN 50177:2009 Stacjonarne urządzenia do elektrostatycznego nanoszenia zapalnych farb proszkowych – – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa.
- [8] PN-EN 1127-1:2019-10 Atmosfery wybuchowe – – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.
- [9] NFPA 33:2018 Standard for Spray Application Using Flammable or Combustible Materials.
- [10] www.sfeg.co.uk [dostęp: 22.06.2020]
- [11] <http://157.205.38.168/eng/ms/index.html> [dostęp: 22.06.2020]
- [12] www.nordson.com [dostęp: 22.06.2020]

Jakub Bielawski – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej studiów I stopnia na kierunku inżynieria bezpieczeństwa w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

Jakub Bielawski – graduate of the Main School of Fire Service in first level studies in the direction of security engineering in the field of fire safety engineering.