

dr inż. Michał Górny

# OCENA ZAGROŻENIA ZAPŁONEM CZĘŚCI NIEELEKTRYCZNEJ UKŁADU NAPĘDOWEGO

IGNITION RISK ASSESSMENT OF NONELECTRICAL PART OF DRIVE SYSTEM

## Abstract:

This paper presents actual constructional requirements and ignition risk assessment methods for non-electrical drives used in drive units. Experiences of European market (European Standards) actually transpose to IEC/ISO standards. Special design of such construction requires a property approach of manufacturers for construction philosophy. Correctly constructed non-electrical drive unit requires specific construction manner in a first stage of construction process. Requires and methodology stated in standards harmonized to ATEX directive are a great convenience for designers.

## Streszczenie:

W niniejszej publikacji przedstawiono wymagania konstrukcyjne i metody oceny zagrożenia zapłonem układów mechanicznych stosowanych w zespołach napędowych. Doświadczenia rynku europejskiego (norm europejskich) są aktualnie transponowane do norm ISO/IEC. Specyfika konstrukcji tego rodzaju napędów wymaga od producenta odpowiedniego podejścia do filozofii konstrukcji. Poprawnie skonstruowany mechaniczny układ napędowy wymaga odpowiedniego podejścia już w początkowej fazie konstruowania. Wymagania i metodyki zawarte w normach zharmonizowanych z dyrektywą ATEX są dużym ułatwieniem dla konstruktorów.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo, ocena zagrożenia, urządzenia nonelektryczne.

**Keywords:** safety, hazard assessment, nonelectrical equipment.

## 1. Wstęp

Typowe układy napędowe składające się najczęściej z silnika elektrycznego oraz przekładni mechanicznej (w ogólnym sensie) coraz częściej są stosowane w obszarach zagrożenia wybuchem. Wymagania dla urządzeń elektrycznych są dosyć dobrze znane i rozpowszechnione, gdy tymczasem wymagania dla urządzeń nonelektrycznych do jakich zalicza się układ przełożenia napędu nie są już tak powszechnie znane.

Dyrektywa 2014/34/UE (ATEX) obejmuje wymagania dla wyrobów (urządzeń, komponentów, systemów ochronnych i aparatury sterującej) przeznaczonych do pracy w atmosferze potencjalnie wybuchowej. Dyrektywa swoje wymagania określa nie tylko do urządzeń elektrycznych, ale obejmuje swym zakresem również urządzenia nonelektryczne. Mimo, że uregulowania te są obligatoryjne od 2003 roku (w Polsce od 2004) roku, to w porównaniu z ponadstuletnią historią uregulowań w zakresie urządzeń elektrycznych, wciąż mogą być uznawane za w miarę nowe [1, 2].

Warto jednak zauważyć, że zanim wymagania dotyczące przeciwwybuchowych urządzeń nieelektrycznych zostały ujęte w dyrektywie ATEX, stosowane były zasady dobrej praktyki inżynierskiej i dobór urządzenia (nieelektrycznego) do występujących w miejscu pracy zagrożeń uwzględniał pewne elementy analizy zagrożeń i oceny ryzyka. Stosowane były również uregulowania branżowe np. w górnictwie w zakresie wentylatorów.

Wprowadzenie urządzeń elektrycznych do miejsc zagrożonych, np. do kopalń (w roku 1870 [1]) skutkowało niestety wypadkami. Nie była jeszcze powszechna wiedza z zakresu zagrożenia metanem oraz odnośnie do parametrów źródeł zapłonu, co niestety skutkowało zapłonami i wybuchami w wyrobiskach podziemnych. W odpowiedzi na takie zdarzenia powstały metody oceny urządzeń elektrycznych pod kątem możliwości pracy w kopalniach. Rozwinięciem tych metod były uregulowania zawarte w normach, przy czym pierwszą organizacją normalizacyjną była Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (IEC) powstała w 1906 r.

Komitet techniczny TC31 obejmujący zagadnienia urządzeń elektrycznych w przestrzeniach zagrożenia wybuchem powstał w 1948 roku [1]. Można więc stwierdzić, że od samego początku stosowania urządzeń elektrycznych towarzyszyły im uregulowania normowe.

W przypadku urządzeń nieelektrycznych świadomość zagrożeń jakie mogą stwarzać podczas pracy w środowisku zagrożonym (np. wybuchem) pojawiła się dopiero wraz z poznawaniem mechanizmów zapłonu atmosfery wybuchowej oraz mechanizmów powstawania aktywnych źródeł zapłonu.

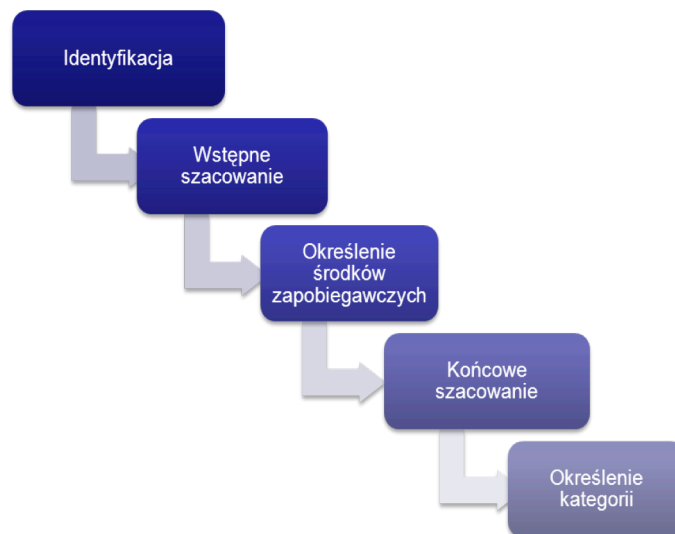
Normalizacja w zakresie urządzeń nieelektrycznych rozwinęła się dopiero wraz z przyjęciem w 1994 r. dyrektywy ATEX. Wprawdzie do 2003 roku stosowanie tej dyrektywy było dobrowolne, jednak europejska organizacja normalizacyjna CEN odpowiedziała na potrzeby i rozpoczęła opracowywanie norm dot. nieelektrycznych urządzeń przeciwwybuchowych. Powstał komitet techniczny TC305 „Zapobiegania wybuchowi i ochrona przed wybuchem”, który uruchomił kilka podstawowych projektów norm. Nagrodą i ukoronowaniem prac komitetu TC305 jest implementacja szeregu norm europejskich dotyczących nieelektrycznych urządzeń przeciwwybuchowych do norm międzynarodowych przyjętych jednocześnie przez ISO oraz IEC. Taki rozwój wydarzeń daje pewien bonus producentom z Europy, którzy już od ponad 10 lat są zaznajomieni z metodykami i zasadami opisanymi w normach, a które aktualnie trafiają do norm ogólnoświatowych. To co dla producentów europejskich jest rutynowe, dla wytwórców spoza UE, np. z Australii, Chin czy USA jest nowością. Również liderująca Związkowi Euroazjatyckiemu (EAC) Rosja przyjęła wszystkie normy Europejskie z zakresu nieelektrycznych urządzeń przeciwwybuchowych [6].

## 2. Filozofia oceny urządzeń nieelektrycznych.

Historyczne podstawy rozwoju oceny poziomu bezpieczeństwa urządzeń elektrycznych bazujące na początkowych ocenach przez jednostki naukowe (uznane autorytety) skutkowały wykształceniem metod testowych. Odpowiedni test symulujący warunki pracy i ew. stanu awaryjnego pozwalał sprawdzić „odporność” na spowodowanie wybuchu atmosfery otaczającej.

Opracowano podstawy wielu metod testowych stosowanych do dziś, np.

- próba nieprzenoszenia się wewnętrznego wybuchu (osłony ognioszczelne „d”);
- odporność na ciśnienie wybuchu (osłony ognioszczelne „d”);
- określenie maksymalnej temperatury elementów mających styczność z atmosferą wybuchową (osłony ognioszczelne „d”, budowa wzmocniona „e”);



**Rysunek 1:** Ocena zagrożenia zapłonem - identyfikacja

- określenie zabezpieczenia przed wnikaniem pyłu w przypadku urządzeń górniczych (osłony ognioszczelne „d”, budowa wzmocniona „e”);
- sprawdzenie zabezpieczenia w przypadku uszkodzenia obwodu elektrycznego - symulacja z wykorzystaniem iskiernika i metod statystycznych (wykonanie iskrobezpieczne „i”).

Wszystkie te metody mają swą podstawę w pracach naukowych i badaniach nad zjawiskiem zapłonu atmosfery gazowej.

Aktualnie, w związku ze zwiększaniem zapotrzebowania na energię i pracę w coraz to nowych miejscach prace te są rozwijane [3, 4].

W przypadku urządzeń nieelektrycznych, nie wypracowano prostych metod testowych weryfikacji poziomu zabezpieczenia przeciwwybuchowego. W urządzeniach nieelektrycznych najczęściej nie występują wysokoenergetyczne źródła zapłonu takie jak łuki czy iskry elektryczne. Najczęstsze są zagrożenia wynikające od zbyt wysokich temperatur oraz od iskier tarciovych. Eliminacja takich zagrożeń bazuje na odpowiedniej konstrukcji urządzenia.

Analiza poprawności konstrukcji może natomiast być zrealizowana z wykorzystaniem systematycznych metod oceny ryzyka (zagrożenia).

Ponieważ, jak już wcześniej wspomniano w przypadku urządzeń nieelektrycznych nie wypracowano prostych i powtarzalnych testów odpowiednich dla urządzeń różnych konstrukcji, bazująca na ocenie zagrożenia metoda oceny możliwa jest do przeprowadzenia jedynie przy gruntownej znajomości zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Taką wiedzę dysponuje producent i tylko producent może przeprowadzić rzetelną ocenę zagrożeń metodą analityczną. producent może taką ocenę zlecić do wykonania innemu podmiotowi ale nie może zbyć się swej odpowiedzialności za wyniki oceny.

### 3. Ocena zagrożenia zapłonem.

Pierwotnym warunkiem przeprowadzenia oceny zagrożenia zapłonem jest definicja przeznaczenia urządzenia (użycia zgodnie z przeznaczeniem). Producent projektując urządzenie zakłada i definiuje ramy dopuszczalnego stosowania urządzenia.

Zakres oceny ryzyka zapłonu (Rys. 1) zawierający wszystkie działania, powinien uwzględniać:

- używanie zgodnie z przeznaczeniem
- możliwe do przewidzenia użycie niezgodnie z przeznaczeniem.

Przy czym jako możliwe do przewidzenia niewłaściwe użycie i/lub zastosowanie urządzenia przez operatora rozumie się takie, które może być spowodowane niedbałością lub niezrozumieniem.

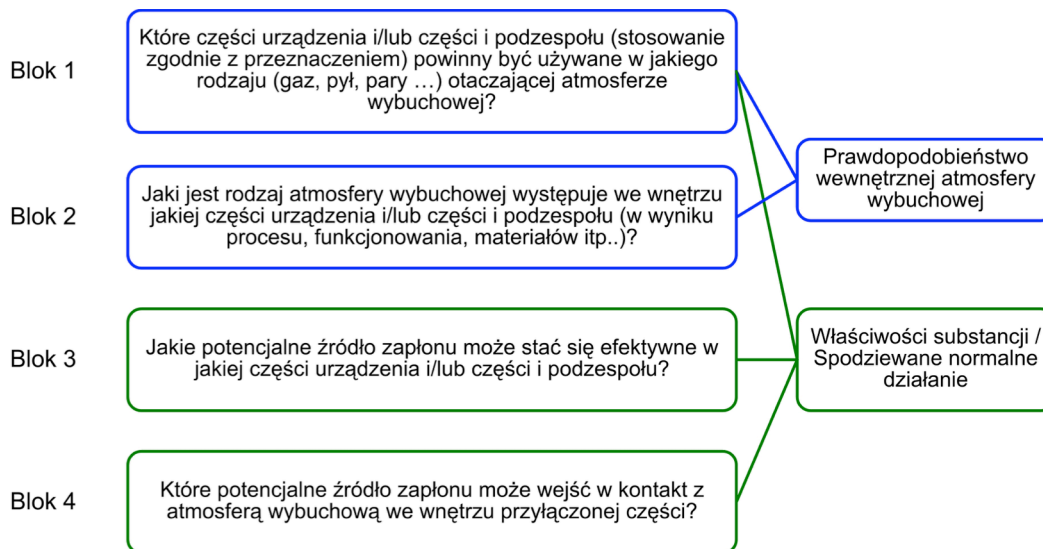
Użycie niezgodnie z przeznaczeniem nie jest częścią normalnego działania. Nie zakłada się celowego użycia niezgodnego z przeznaczeniem.

Używanie zgodnie z przeznaczeniem powinno odnosić się na przykład do następujących elementów:

- cykli życia urządzenia;
- ograniczenia pojęć: stosowanie, czas i obszar;
- precyzyjnego określenia funkcjonowania;
- wyboru materiałów konstrukcyjnych;
- osiągnięć, okresu trwałości i konfiguracji;
- określenia rodzajów substancji, które mogą być przetwarzane i warunków procesowych.

Informacje niezbędne do przeprowadzenia oceny zagrożenia:

- a) użycie zgodnie z przeznaczeniem, odpowiednio do grupy I lub grupy II i kategorii 1, 2, 3, M1 lub M2;
- b) ocenę początkową urządzenia;
- c) materiały do zastosowania (lub niezbędne dane bezpieczeństwa);
- d) wymagania dotyczące obsługi urządzenia w tym podczas czyszczenia;
- e) rysunki konstrukcyjne;
- f) wyniki obliczeń konstruktorskich, wyniki badań;



**Rysunek 2: Identyfikacja zagrożeń**

oraz gdy jest to możliwe

- g) wyniki badań jeśli pozwalają na oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia i/lub efektywności, źródeł zapłonu;
- h) historię wypadków;
- i) publikacje dotyczące odpowiednich aspektów bezpieczeństwa.

Pierwszym krokiem jest identyfikacja zagrożeń zapłonem (Rys. 2). Należy odnieść się do wszystkich występujących zagrożeń uwzględniając normalne działanie, możliwe do przewidzenia wadliwe działanie oraz rzadkie wadliwe działanie (według kategorii urządzenia).

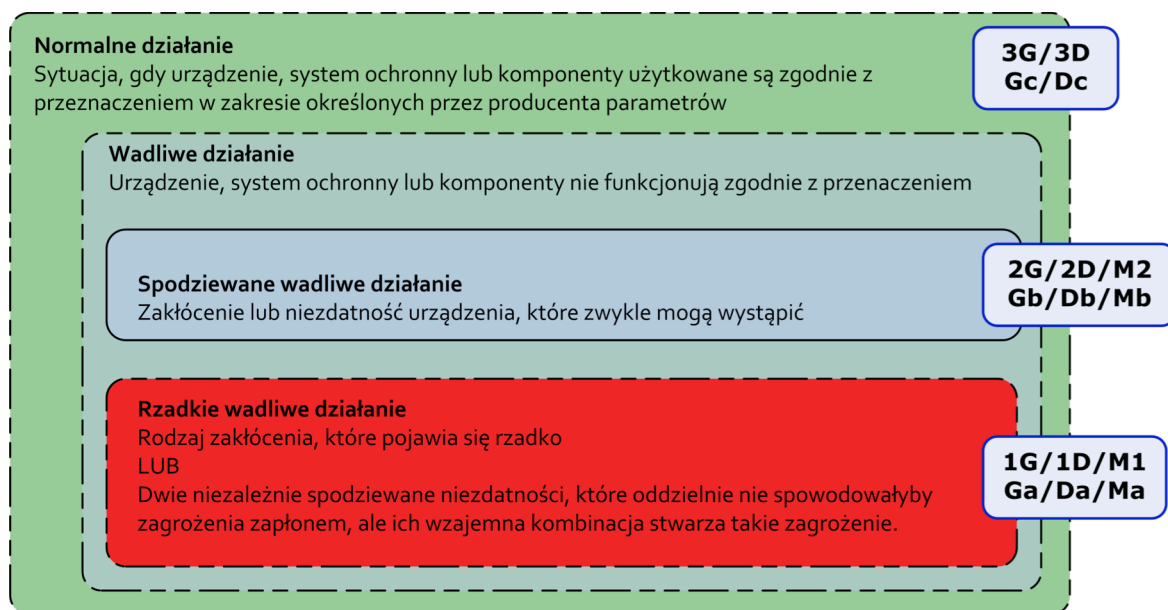
Szczegóły rysunku 2:

**Blok 1:** Należy zdecydować czy użyciem zgodnie z przeznaczeniem jest użycie w atmosferze wybuchowej (np. atmosferze otaczającej urządzenie lub komponent).

Jeżeli urządzenie lub komponent zawierające atmosferę wybuchową, może, z powodu swojej konstrukcji, działania itp. wytworzyć atmosferę wybuchową, która całkowicie lub częściowo otacza je, wtedy takie urządzenie lub komponent jest w efekcie w atmosferze potencjalnie wybuchowej.

**Blok 2:** Należy przeanalizować, czy atmosfera wybuchowa we wnętrzu urządzenia lub komponentu wystąpi z powodu procesu samego w sobie czy też z powodu połączenia do otaczającej atmosfery.

Jest to konieczne, ponieważ wybuch wewnętrzny, który może spowodować zapłon otaczającej urządzenie atmosfery wybuchowej, powinien być rozważany jako źródło zapłonu.



**Rysunek 3:** Ocena zagrożenia zapłonem w odniesieniu do rodzajów pracy i kategorii.

Tak więc prawdopodobieństwo i czas występowania wewnętrznej atmosfery wybuchowej powinny być określone.

**Blok 3:** Należy zdecydować, czy występujące źródło zapłonu jest zdolne do zapłonu atmosfery wybuchowej, tj. czy źródło zapłonu jest potencjalnym źródłem zapłonu. Należy rozważyć, czy to źródło zapłonu staje się efektywne podczas normalnej pracy, możliwych do przewidzenia uszkodzeń czy rzadko występujących uszkodzeń.

**Blok 4:** Zagrożenie zapłonem, urządzenia lub komponentu powinno być określone dla każdego elementu urządzenia lub części składowej, które wchodzi w kontakt, lub mają połączenie z „zewnętrzną” atmosferą wybuchową.

Przeprowadzając ocenę należy odnieść się do PN-EN 1127-1 [5] rozważając następujące zagadnienia:

- właściwości spalania;
- określenie ilości oraz prawdopodobieństwa wystąpienia atmosfery wybuchowej;
- warunki zapłonu.

Ponadto norma PN-EN 1127-1 [5] definiuje wszystkie znane mechanizmy zapłonu, więc odnosząc się do nich można mieć pewność, że nie pominięto żadnego zagrożenia. Wykaz zdefiniowanych mechanizmów zapłonu przedstawiono w tablicy 1.

**Tablica 1: Źródła zapłonu wg PN-EN 1127-1 [5]**

Lp.	Możliwe źródła zapłonu	Lp.	Możliwe źródła zapłonu
1	Gorące powierzchnie	8	Fale elektromagnetyczne
2	Iskry mechaniczne	9	Promieniowanie jonizujące
3	Płomienie, gorące gazy	10	Promieniowanie wysokiej częstotliwości
4	Iskry elektryczne	11	Ultradźwięki
5	Prądy błędzące, katodowa ochrona przed korozją	12	Sprężanie adiabatyczne
6	Elektryczność statyczna	13	Reakcja chemiczna
7	Uderzenie pioruna		

Wynikiem identyfikacji źródeł zapłonu powinna być lista wszystkich zagrożeń zapłonem. Na początku należy określić, które rodzaje zapłonu są możliwe. Następnie należy przeanalizować łańcuch przyczyn i skutków prowadzący do źródeł zapłonu.

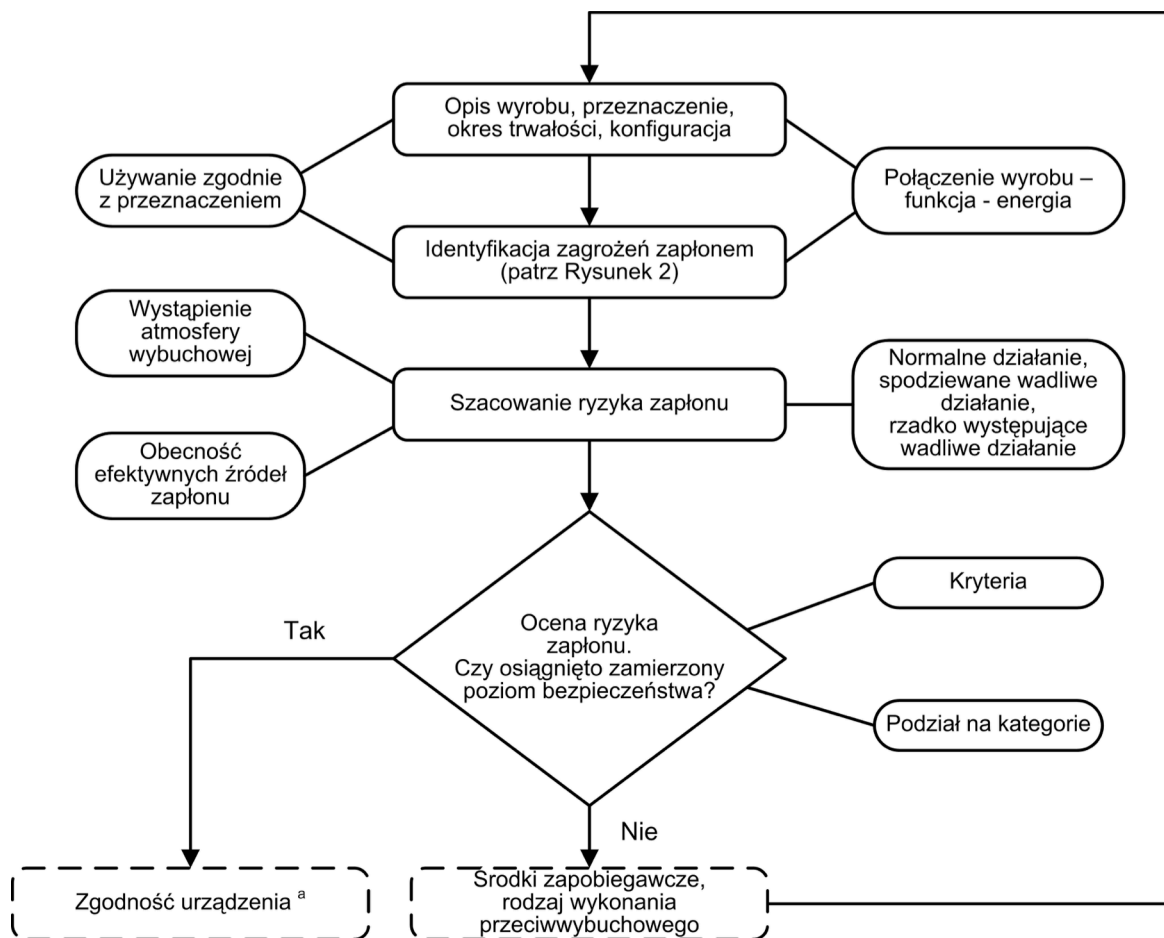
Źródła zapłonu powinny być rozpatrywane oddzielnie z odniesieniem do różnic w:

- a) poziomach energii (temperatura, ciśnienie, tarcie, pola elektromagnetyczne, wyładowania elektrostatyczne)
- b) odmianach konstrukcyjnych
- c) warunkach pracy lub cyklach roboczych, w tym ich zmiany (uruchomienie, zatrzymanie, zmienność obciążenia itp.)
- d) oddziaływaniu środowiska (temperatura, ciśnienie, wilgotność, energia zasilająca itp.)
- e) parametrach materiałowych i ich wzajemnej zależności (metal, tworzywo, ciecze gromadzące ładunki itp.)
- f) wzajemnej zależności elementów lub innych części urządzenia
- g) wzajemnej zależności z osobami (w tym możliwe do przewidzenia niewłaściwe użycie)
- h) jeśli konieczne, kombinacji uszkodzeń

Następnym etapem jest szacowanie ryzyka zapłonu. Podczas szacowania ryzyka zapłonu, należy określić prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia zapłonem. Decyzja powinna opierać się na następujących trzech typach sytuacji:

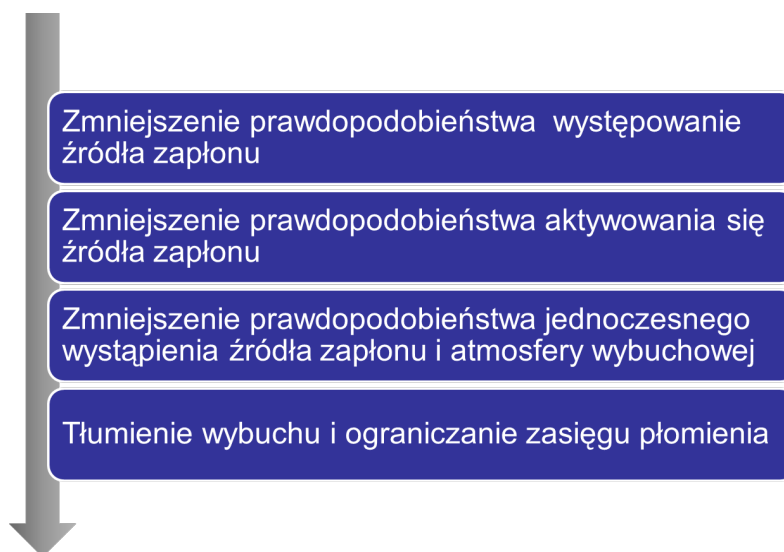
- normalnej pracy i możliwym do przewidzenia niewłaściwym użyciu
- często występujących zakłóceniach lub uszkodzeniu urządzenia (spodziewane wadliwe działanie)
- rzadkich wydarzeniach (rzadkie uszkodzenia).

Końcowym etapem jest ocena ryzyka zapłonu czyli porównanie oszacowanego ryzyka zapłonu z podanymi kryteriami do określania zamierzonego poziomu zabezpieczenia (rysunek 4.)



Rysunek 4: Schemat procedury oceny ryzyka zapłonu.

W przypadku, gdy uzyskane wyniki nie odpowiadają założonym akceptowalnym warunkom należy zredukować zagrożenie. Przy czym kolejność redukowania zagrożenia powinna przebiegać wg rys. 5.



Rysunek 5: Redukowanie zagrożenia.



**Tablica 2:** Najczęściej stosowane normy przydatne do oceny ryzyka zapłonu.

Nr normy	Tytuł	Uwagi / Dotyczy
<b>PN-EN 1127-1</b>	Atmosfery wybuchowe -- Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem -- Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka	Norma podstawowa, ułatwia przeprowadzenie kompletnej analizy ryzyka zapłonu. Dotyczy kategorii 1, 2, 3
<b>PN-EN 1127-2</b>	Atmosfery wybuchowe -- Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem -- Część 2: Pojęcia podstawowe i metodologia dla górnictwa	Norma podstawowa, ułatwia przeprowadzenie kompletnej analizy ryzyka zapłonu. Dotyczy kategorii M1 i M2
<b>PN-EN 13463-1</b>	Urządzenia nieelektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem -- Część 1: Podstawowe założenia i wymagania	Norma ogólna. Wymóg przeprowadzenia „oceny ryzyka zapłonu” Dotyczy kategorii 1, 2, 3, M1, M2
<b>PN-EN 13463-2</b>	Urządzenia nieelektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem -- Część 2: Ochrona za pomocą obudowy z ograniczonym przepływem "fr"	Dotyczy kategorii 3
<b>PN-EN 13463-3</b>	Urządzenia nieelektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem -- Część 3: Ochrona za pomocą osłony ognioszczelnej "d"	Odwołuje się do PN-EN 60079-1 (Exd). Również wymagania odnośnie badań urządzeń kategorii 2D. Dotyczy kategorii M2 i 2
<b>PN-EN 13463-5</b>	Urządzenia nieelektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem -- Część 5: Zabezpieczenie za pomocą bezpieczeństwa konstrukcyjnego "c"	Norma określa sposób podejścia (filozofię) podczas konstruowania urządzeń. Dotyczy kategorii M2, 1, 2 i 3
<b>PN-EN 14986</b>	Konstrukcje wentylatorów pracujących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem	Dotyczy wentylatory grupy IIG (podgrupy IIA, IIB oraz wodór) kategorii 1, 2 i 3 oraz grupy IID kategorii 2 i 3
Norm PN-EN ISO/IEC – (zastąpią odpowiednie normy EN)		
<b>ISO/IEC 80079-36</b>	Atmosfery wybuchowe – Część 36: Urządzenia nieelektryczne do użytku w atmosferach wybuchowych - Podstawowe założenia i wymagania	Wymagania ogólne bazujące na EN 13463-1
<b>ISO/IEC 80079-37</b>	Atmosfery wybuchowe – Część 37: Urządzenia nieelektryczne do użytku w atmosferach wybuchowych – rodzaj zabezpieczenia nieelektrycznego bezpieczeństwa konstrukcyjne ‘c’, nadzorowanie źródeł zapłonu ‘b’, zanurzenie w cieczy ‘k’	Bazuje na odpowiednich normach EN (EN 13463-5; EN 13463-8; EN 13463-6)
Dodatkowe normy dla górnictwa		
<b>PN-EN 50303</b>	Urządzenia grupy I kategorii M1 przeznaczone do pracy ciągłej w atmosferach zagrożonych metanem i/lub pyłem węglowym.	Norma dotyczy zarówno urządzeń elektrycznych jak i nieelektrycznych kategorii M1
<b>PN-EN 1710</b>	Urządzenia i podzespoły przeznaczone do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych.	Dotyczy urządzeń kategorii M2
Dodatkowe normy pomocne przy tworzeniu dokumentu oceny zagrożenia zapłonem		
<b>PN-EN 15198</b>	Metodyka oceny ryzyka zapłonu od nieelektrycznych urządzeń oraz części i podzespołów przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem	Norma podaje metodykę opracowywania dokumentu analizy ryzyka zapłonem.

Procedura szacowania ryzyka zapłonu w odniesieniu do konstrukcji urządzeń oraz komponentów prowadzi do zdefiniowanego poziomu bezpieczeństwa, który umożliwia podział na kategorie według odpowiednich kryteriów (rysunek 3).

Dokumentacja powinna dowodzić przeprowadzonej procedury oceny. Powinna zawierać:

- a) opis urządzenia
- b) wszystkie poczynione istotne założenia
- c) informacje, na których bazuje ocena
- d) użyte dane oraz ich źródła (z niepewnościami)
- e) zidentyfikowane zagrożenia zapłonem
- f) właściwości substancji palnej
- g) prawdopodobieństwo wystąpienia atmosfery wybuchowej
- h) źródła zapłonu
- i) pozostałe ryzyko związane z urządzeniem
- j) środki bezpieczeństwa zastosowane w celu wyeliminowania lub zredukowania ryzyka zapłonu (np. pochodzące z norm lub innych wymagań technicznych)
- k) wynik końcowej oceny ryzyka zapłonu
- l) wynikający podział na kategorie.

Dokumentacja ta może być wykorzystana podczas oceny zgodności wyrobu – według wymagań dyrektywy ATEX.

#### **4. Podsumowanie.**

Przedstawiona metodyka oceny zagrożenia zapłonem urządzeń nielektrycznych jest wymagana przez odpowiednie normy zharmonizowane. Jak wcześniej wspomniano, rozwój naukowy znajduje swoje odzwierciedlenie w normach technicznych precyzujących sposób postępowania. W przypadku urządzeń nielektrycznych producent ma do dyspozycji cały pakiet norm, które może, a nawet powinien wykorzystać. Wykaz najczęściej wykorzystywanych i najbardziej uniwersalnych norm podano w tabeli 2.

Wymagana przez dyrektywę 2014/34/UE (ATEX) ocena zgodności w przypadku urządzeń nielektrycznych najczęściej (w przypadku kategorii 2 i M2) oznacza przesłanie do jednostki notyfikowanej kompletu dokumentacji w celu przechowywania – jednostka nie analizuje zawartości kompletu dokumentacji. W przypadku urządzeń kategorii 3 nawet przesłanie dokumentacji nie jest wymagane – producent na podstawie własnych analiz deklaruje odpowiedni poziom zabezpieczenia przeciwybuchowego. Jedynie w przypadku urządzeń kategorii 1 i M1 wymagana jest ocena i badania (certyfikat badania typu UE) przeprowadzane przez jednostkę notyfikowaną – ale nawet wtedy najważniejszym elementem dokumentacji jest własna (producenta) ocena zagrożenia zapłonem.

## 5. Literatura

- [1] M. Górny, „Historia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego w Polsce,” *Bezpieczeństwo przeciwwybuchowe. Wybrane zagadnienia*, Katowice, Główny Instytut Górnictwa, 2013, pp. 7 - 23.
- [2] M. Górny, „Wysokonapięciowe silniki przeciwwybuchowe budowy wzmocnionej,” *ZPME nr 2/2012 (95)*, pp. 77-82, 2012.
- [3] M. Górny, „Ciśnienie wybuchu we wnętrzu ognioszczelnych silników indukcyjnych w niskich temperaturach,” *ZPME nr 80/2008*, pp. 99-105, 2008.
- [4] M. Górny, „Propagacja wybuchu przez szczelinę powietrzną silnika ognioszczelnego,” *ZPME nr 2/2013 (99)*, pp. 121-127, 2013.
- [5] PN-EN 1127-1:2011 *Atmosfery wybuchowe -- Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem -- Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka*, PKN, Warszawa
- [6] ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА ТР ТС 012/2011  
*О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах*

*Artykuł ukazał się w wydawnictwie „Napędy i Sterowanie” nr 10/2017 str. 56 - 61.*