

Michał Górny

Historia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego w Polsce

History of ex-safety in Poland

Streszczenie:

W publikacji przedstawiono historię rozwoju bezpieczeństwa przeciwwybuchowego w Polsce. Podobnie jak w innych uprzemysłowionych krajach, początki uregulowań w zakresie bezpieczeństwa przeciwwybuchowego sięgają lat 20. XX w. Pierwszą gałęzią przemysłu, w której uregulowano zagadnienia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego było górnictwo. W latach przedwojennych, wymagania innych przemysłów odnosiły się do wymagań górniczych. Omówiono również postęp i rozwój metod badawczych urządzeń przeciwwybuchowych na przykładzie metod badawczych dotyczących osłon ognioszczelnych. Publikacja odwołuje się do historycznych dokumentów (normy, uregulowania prawne) oraz wykorzystuje informacje z archiwów Kopalnia Doświadczalnej „BARBARA” – jedynej (jak określano) miarodajnej stacji badawczej.

Abstract:

This paper presents a history of explosion proof safety growth in Poland. Similar to other industrial countries, the begin of governing in scope of explosion proof safety goes back to years '20 of XX century. The first branch, where governing of explosion proof safety were established was mining industry. In the prewar years, others branch requirements were referred to mining's governing. Progress and development of explosion proof equipment tests method was presented based on flameproof enclosures tests method.

Paper makes a reference to historical documents (standards, governments) and present information from Experimental Mine “BARBARA” archives – the only one and reliable test stand (as defined then).

1. WPROWADZENIE

Gwałtowny rozwój przemysłu w XVIII w. spowodował m.in. wzrost zapotrzebowania na surowce energetyczne, w tym węgiel, a tym samym wzrost liczby kopalń. Jednym z podstawowych zagrożeń naturalnych występujących w kopalniach jest wydzielanie się metanu. Nad górnikami zawsze ciążyło widmo wybuchu gazu. Niwelowanie tego zagrożenia początkowo polegało na wypalaniu gazu. Na rysunku 1 przedstawiono wypalanie metanu za pomocą pochodni.



Rys. 1. Wypalanie gazu za pomocą pochodni

W roku 1815 brytyjski chemik sir Huphry Davy odpowiedział na potrzeby skonstruowania źródła światła zdolnego do bezpiecznej pracy w atmosferze kopalnianej i wynalazł lampę górniczą [1], w której otwarty płomień otoczony był siateczką drucianą, tak skutecznie zabezpieczającą produkty spalania, że nie były zdolne do zapalenia „gazu kopalnianej” – metanu. Tego typu lampy wskaźnikowe są używane w górnictwie do dziś.

Oceniając lampę Davy'ego z perspektywy obecnego stanu techniki, można stwierdzić, że lampa ma budowę podobną do współczesnych osłon ognioszczelnych: aktywne źródło zapłonu jest oddzielone od otaczającej przestrzeni zagrożonej wybuchem za pomocą bezpiecznej osłony (obudowy).

Radykalne zmiany wymusiło wprowadzenie urządzeń elektrycznych w podziemiach kopalń, co nastąpiło w roku 1870 [1], [2]. Po roku 1882 zaczęto wprowadzać oświetlenie elektryczne. W roku 1882 w Trafalgar Colliery zastosowano pierwszy silnik elektryczny prądu stałego o mocy 3 kW (system przesyłu energii za pomocą prądu trójfazowego wynalazł John Hopkinson dopiero w roku 1880, a pierwszy trójfazowy silnik indukcyjny klatkowy został zbudowany przez Michała Doliwo-Dobrowolskiego w roku 1888 [1].

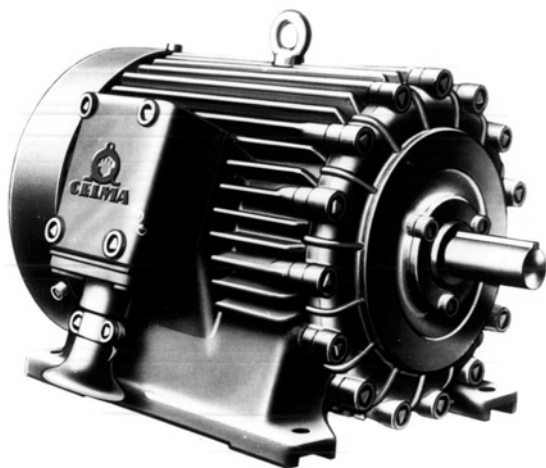
Pierwsze badania nad parametrami decydującymi o zapaleniu „gazu kopalnianej” (metanu) prowadzone były w Niemczech przez Lehmana i Wülnera w latach

1884–1885. Natomiast pierwsze badania nad konstrukcją osłony ognioszczelnej prowadzili Statham i Wheeler na Wydziale Górnictwa Uniwersytetu w Sheffield [2].

Prace te zaowocowały wydaniem odpowiednich przepisów i norm m.in. w Niemczech i w Wielkiej Brytanii. W roku 1912 Verband Deutscher Elektrotechniker – VDE (Związek Elektrotechników Niemieckich) wydał normę VDE 0170, zawierającą przepisy budowy przeciwybuchowej dla kopalń metanowych. W roku 1929 British Standards Institution – BSI wydała normę dla urządzeń w osłonie ognioszczelnej BS 229-1929. Pierwsze orzeczenia (atesty) dla urządzeń w wykonaniu ognioszczelnym wydawane były m.in. przez Uniwersytet w Sheffield; w latach 1922–1931 wydano 285 orzeczeń [2].

Wraz z rozwojem normalizacji w szerokim międzynarodowym zakresie, na kongresie w roku 1906 powołano specjalną komisję: International Electrotechnical Commission (IEC), a w roku 1948 utworzono komitet techniczny TC31 ds. elektrycznych urządzeń przeciwybuchowych.

W Polsce pierwsza norma dotycząca urządzeń w wykonaniu przeciwybuchowym została wydana w roku 1929 przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich¹: PNE-17:1929 *Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych w podziemiach kopalń*. Norma ta została opracowana wspólnie z Czechosłowackim Związkiem Elektrotechników. Wydana ją w roku 1930 i wznowiono w 1937 oraz po wojnie w 1946. Od 1 lipca 1958 r. została zastąpiona przez normę PN-57/E-08101 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla górnictwa węglowego. Przepisy konstrukcyjne* [3], [4], [5].

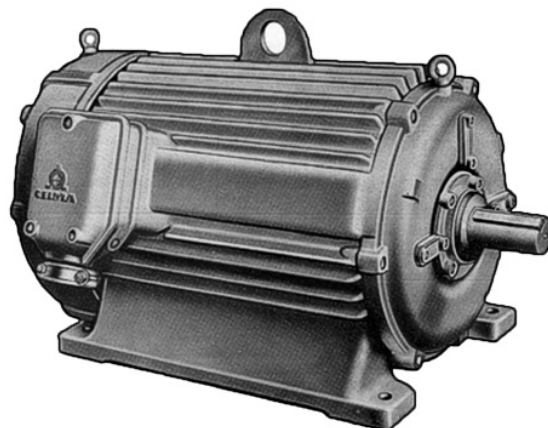


Rys. 2. Powojenny górniczy silnik przeciwybuchowy w osłonie ognioszczelnej (CELMA INDUKTA)

Śledząc rozwój metod badawczych urządzeń przeciwybuchowych oraz normalizację z tym związaną, można zauważyć, że bezpieczeństwo przeciwybuchowe

¹ SEP był członkiem IEC jeszcze przed powstaniem Polskiego Komitetu Normalizacyjnego

wywodzi się z górnictwa. To właśnie rozwiązania techniczne w zakresie bezpieczeństwa przeciwybuchowego po raz pierwszy zastosowane w górnictwie, były podstawą – punktem wyjścia do opracowania podobnych rozwiązań dla przemysłu chemicznego. Potwierdzeniem tego jest fakt, że pierwsza polska norma dotycząca elektrycznych urządzeń przeciwybuchowych dla przemysłu chemicznego powstała dopiero w roku 1963: PN-63/E-08102 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla przemysłu chemicznego i pokrewnych. Przepisy konstrukcyjne* [6].



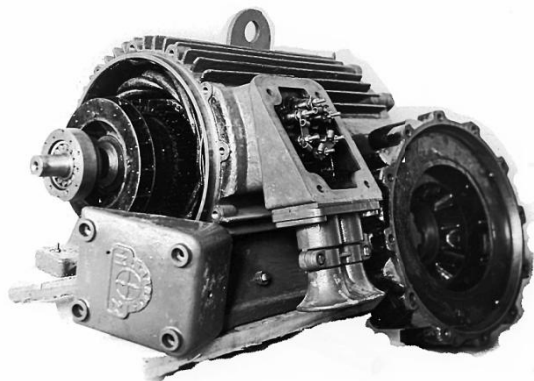
Rys. 3. Powojenny górniczy silnik przeciwybuchowy budowy wzmocnionej (CELMA INDUKTA)

W okresie międzywojennym zapotrzebowanie kopalń węgla kamiennego oraz przemysłu chemicznego na maszyny i urządzenia w wykonaniu przeciwybuchowym pokrywane było z importu - polski przemysł nie produkował takich urządzeń. Dopiero w roku 1938 Zakłady Elektromechaniczne Rohn-Zieliński w Cieszynie (obecnie ME CELMA SA) podjęły przygotowania do produkcji silników przeciwybuchowych w wykonaniu ognioszczelnym oraz budowy wzmocnionej na podstawie dokumentacji licencyjnej szwajcarskiej firmy Brown-Boveri [7]. Silnik typu MQKWe 64a o mocy 3 kW został w czerwcu 1939 r. zbadany przez Kopalnię Doświadczalną „BARBARA” na zgodność z PNE-17:1929 i otrzymał cechę ognioszczelności oraz został dopuszczony do ruchu w kopalniach gazowych. W fabryce Rohn-Zieliński w Żychlinie (obecnie ZME EMIT SA) opracowano przed wojną, również na podstawie licencji szwajcarskiej firmy Brown-Boveri szereg silników klatkowych zamkniętych budowy wzmocnionej spełniających wymagania PNE-17:1929. Przed rokiem 1939 fabryka w Żychlinie wyprodukowała jeszcze niewielką ilość silników indukcyjnych pierścieniowych budowy wzmocnionej z tulejami pierścieniowymi w obudowie ognioszczelnej [7].

Po wojnie, polski przemysł został odcięty od zagranicznych licencjodawców i wszystkie konstrukcje urządzeń przeciwybuchowych (przede wszystkim silników

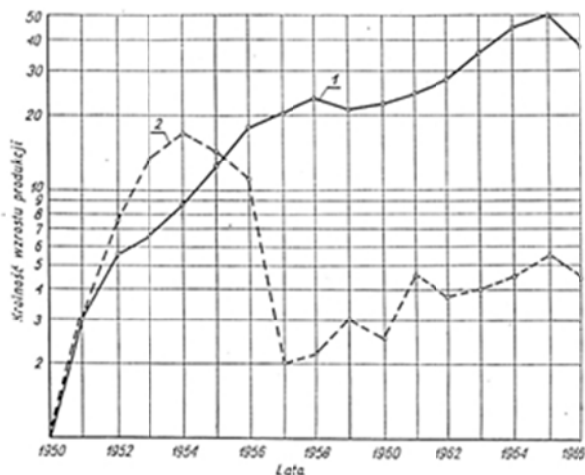
elektrycznych) były opracowywane przez polskich konstruktorów. Popularne silniki konstrukcji przeciwybuchowej stosowane po wojnie przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

Początkowo produkcja górniczych silników elektrycznych w wykonaniu przeciwybuchowym obejmowała w równych proporcjach silniki w osłonie ognioszczelnej oraz silniki budowy wzmocnionej. Począwszy jednak od roku 1956 nastąpił spadek zapotrzebowania na silniki budowy wzmocnionej. Silniki w osłonie ognioszczelnej, ze względu na większą użyteczność (mogły być stosowane we wszystkich pomieszczeniach kopalń gazowych, silniki budowy wzmocnionej jedynie w pomieszczeniach ze stopniem „a” oraz „b” niebezpieczeństwa wybuchu metanu) zaczęły dominować w polskich kopalniach. Na rysunku 3 przedstawiono silnik elektryczny produkowany w ME CELMA w latach 1950–1966, a na rysunku 4 silnik typu SZJ5a 134b z roku 1951.



Rys. 4 Silnik typu SZJ5a 134b (65kW, 500V) produkcji Zakładów Wytwórczych Silników Elektrycznych w Cieszynie (obecnie CELMA INDUKTA) podczas badań w Kopalni Doświadczalnej „BARBARA” – rok 1951

Silniki elektryczne są najbardziej znaczącym przykładem rozwoju urządzeń w wykonaniu przeciwybucho-



Rys. 5. Wielkość produkcji silników elektrycznych w latach 1955–1960 w fabryce ME CELMA SA: 1 – silniki w osłonie ognioszczelnej, 2 – silniki budowy wzmocnionej [7]

wym. Podobną historię miały inne typowe urządzenia np. w roku 1958 opracowano konstrukcję pierwszego transformatora suchego w osłonie ognioszczelnej typu T3Sa 200/6 o mocy 200 kVA i napięciu górnym 6 kV (Mikołowska Fabryka Transformatorów MEFTA); w roku 1953 wyprodukowano pierwszy kopalniany wyłącznik stycznikowy w osłonie ognioszczelnej typu KW50-85 (Pomorskie Zakłady Wytwórcze Aparatury Niskiego Napięcia APATOR w Toruniu); w latach 1953–1955 opracowano serię modułowych rozdzielnic w żeliwnych obudowach ognioszczelnych (Bydgoskie Zakłady Elektromechaniczne BELMA w Bydgoszczy) [7].

Produkcja polskich urządzeń w wersji przeciwybuchowej dla przemysłu pozagórniczego rozpoczęła się wraz z opracowaniem normy PN-63/E-08102. Warto zauważyć, że pierwszymi takimi urządzeniami były silniki elektryczne. Pierwsze pięć pozycji w rejestrze Kopalni Doświadczalnej „BARBARA” zajmują silniki produkcji fabryki CELMA w Cieszynie, następne sześć – silniki produkcji firmy „TAMEL” w Tarnowie.



Rys. 6. Przedwojenny folder reklamujący produkowane silniki w wykonaniu przeciwybuchowym dla przemysłu chemicznego (ZME EMIT)

2. Normalizacja urządzeń w wykonaniu przeciwybuchowym w Polsce

Wraz z rozwojem świadomości zagrożeń wybuchem, rozwijały się metody oceny urządzeń w wykonaniu przeciwybuchowym. Wynikające z badań nad właściwościami wybuchowymi mieszanin gazów, metody oceny odpowiednich konstrukcji ewoluowały wraz z rozwijającym się rynkiem urządzeń przeciwybuchowych. Powstawały odpowiednie przepisy krajowe, zastąpione później normami technicznymi, zawierające konkretyzację wymagań i metod badawczych.

Pamiętając, że bezpieczeństwo przeciwybuchowe wywodzi się z górnictwa, jest oczywiste, że pierwsze polskie normatywne wymagania techniczne dotyczyły właśnie górnictwa węglowego. Zawarto je w wydanej przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich normie PNE-17:1929 *Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego w podziemiach kopalń* [3]. Przepisy te wymagały potwierdzenia poprawności konstrukcji przez uprawnioną do tego jednostkę badawczą. W paragrafie 13, dotyczącym wyrobisk (pomieszczeń) z gazami wybuchowymi lub pyłem węglowym, znalazł się m.in. następujący zapis:²
Mają być stosowane tylko takie maszyny [...] których budowa odpowiada „wskazówkom budowy [...]”, i których zgodność z temi zasadami stwierdzona została przez międzynarodową polską stację doświadczalną [...].

Wymagania zawarto w Dodatku do ww. normy pt. „Wskazówki budowy maszyn, transformatorów i przyrządów, przeznaczonych do pracy w gazach wybuchowych”. §1 Dodatku brzmiał:

Wszystkie maszyny, przyrządy, kable i t. p. muszą być tak zbudowane, ustawione, zabezpieczone, obsługiwane i utrzymywane, aby przy normalnej pracy nie mogły spowodować powstania iskier w niebezpiecznej przestrzeni otaczającej.

Warto zauważyć, że nie analizowano stanu awaryjnego, a bezpieczeństwo przeciwybuchowe ograniczano jedynie do stanu normalnej pracy. Nie precyzowano również reżimów przeglądowych ani warunków konserwacji urządzeń. Stosowane obecnie metody oparte na szacowaniu prawdopodobieństwa zapłonu (np. urządzenia w wykonaniu iskrobezpiecznym Exi) zostały jedynie zasygnalizowane, zalecając dobór odpowiedniego wykonania urządzenia oraz miejsca instalacji:

Wybór systemu budowy z pomiędzy niżej opisanych winien być dokonany na następującej zasadzie: Stopień prawdopodobieństwa zapalenia mieszanki wybuchowej przez iskrę elektryczną w kopalni jest iloczynem prawdopodobieństw następujących 2-ch czynników: 1) utworzenia się takiej mieszanki i 2) powstania jednocześnie iskry elektrycznej w tem samym miejscu. Dla miejsc z dużym stopniem prawdopodobieństwa czynnika pierwszego należy wybierać

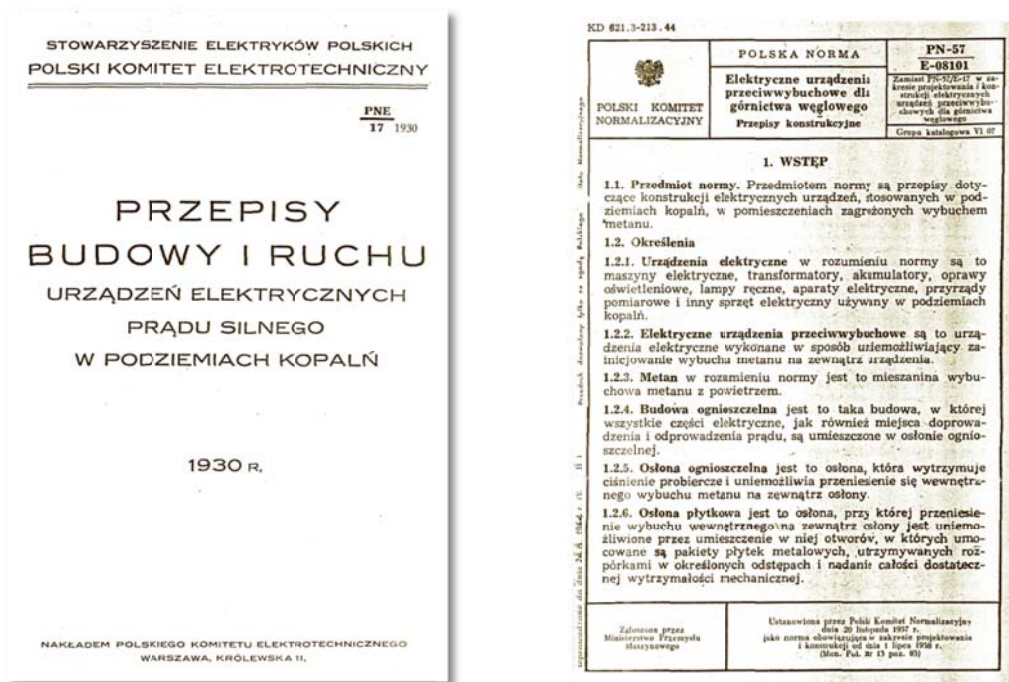
konstrukcje elektryczne najpewniejsze, np. osłony ognioszczelne [...]. Poza tem w celu obniżenia prawdopodobieństwa czynnika pierwszego należy starać się umieszczać urządzenia elektryczne w miejscach o stałym przepływie świeżego powietrza.

Od samego więc początku osłona ognioszczelna uznawana była za najpewniejszą metodę zabezpieczenia przeciwybuchowego, a jej definicja nie odbiegała od obecnie przyjętej. Za osłonę ognioszczelną uważano: [...] taką, która zapobiega przedostaniu się ognia powstałego ewentualnie wewnątrz, do zewnętrznego otoczenia.

Niestety ww. przepisy nie określały metod badawczych, precyzowały jedynie wymagania techniczne i konstrukcyjne. Mimo upływu prawie 100 lat od ich opracowania zasadnicza idea wymagań technicznych jest wciąż aktualna:

Wszystkie części osłony [...] o zawartości powietrza poniżej 1 litra muszą wytrzymać nadciśnienie wewnętrzne 8 atm., przy zawartości zaś mniejszej - 3 atm. Należy unikać podziału przestrzeni osłoniętej na części połączone za sobą wąskimi otworami, gdyż połączenia takie mogą powodować nadmierny wzrost ciśnienia. Styki składanych części osłony, pokryw, drzwi i kłap muszą być wykonane jako połączenie kolnierzowe o dostatecznie szerokiej (ok. 25 mm) gładko obrobionej powierzchni styku. [...] Przejścia wałów silnikowych mają mieć długość najmniej 50 mm przy różnicy średnic najwyższej 0,5 mm.

² Brzmienie fragmentów normy PNE-17 przytoczono zgodnie z oryginałem



Rys. 7. Pierwsze polskie normy dotyczące górniczych urządzeń przeciwybuchowych: PNE-17 (wydanie drugie z 1930 r.) oraz PN-57/E-08101

Norma PNE-17:1929 doczekała się następnych wydań w roku 1930 oraz w 1946. W roku 1957 została zastąpiona przez normę PN-57/E-08101 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla górnictwa węglowego. Przepisy konstrukcyjne* [5]. Nowa norma różniła się od normy wcześniejszej przede wszystkim zakresem. Na ponad 40 stronach zawarte były definicje, wymagania konstrukcyjne, szkice poglądowe, metodyka badawcza, zasady cechowania oraz postanowienia odnośnie do wydawanych dokumentów w odniesieniu do wszystkich znanych rodzajów budowy przeciwybuchowej (budowa ognioszczelna, osłona płytkowa, budowa wzmocniona, urządzenia z osłoną olejową, budowa specjalna). Norma ta określała dwa poziomy badań urządzeń: badanie typu dla nowych konstrukcji oraz badanie wyrobu dla każdego wyprodukowanego egzemplarza.

Do wymaganych badań typu osłony ognioszczelnej zakwalifikowano m.in. próbe osłon na ciśnienie oraz próbe osłon na wybuch metanu. Po raz pierwszy określono wymagania dotyczące wykonywania próby nieprzeniesienia się wewnętrznego wybuchu. O ile próba ciśnieniowa oparta była na konkretnych wartościach ciśnień podanych w normie (nie było wymagania przeprowadzania pomiaru maksymalnej wartości ciśnienia wybuchu), o tyle próbe nieprzeniesienia się wybuchu oparto na 6-krotnym

powtórzeniu badania wybuchowego na stanowisku badawczym.

Norma z roku 1957 wprowadziła wymagania znakowania urządzeń. Urządzenia w osłonie ognioszczelnej cechowano znakiem BM, natomiast urządzenia budowy wzmocnionej – znakiem BW. Pierwsze polskie normy dotyczące górniczych urządzeń przeciwybuchowych przedstawiono na rysunku 7.

Normalizacja w zakresie urządzeń przeciwybuchowych dla przemysłu pozagórniczego rozwinęła się dopiero w latach powojennych. Pierwsza polska norma, w której ujęto wymagania konstrukcyjne oraz metody badań i oznakowanie urządzeń przeciwybuchowych dla przemysłu chemicznego została wydana w roku 1963. Była to PN-63/E-08102 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla przemysłu chemicznego i pokrewnych. Przepisy konstrukcyjne*. Zawarto w niej wymagania dla wszystkich stosowanych wtedy rodzajów budowy przeciwybuchowej, tj. dla urządzeń budowy ognioszczelnej, budowy wzmocnionej, z osłoną olejową, z osłoną piaskową, budowy przewietrzanej, z osłoną gazową pod ciśnieniem oraz budowy specjalnej. Interesujące jest, że norma nie obejmowała urządzeń w wykonaniu iskrobezpiecznym.



Rys. 9. Przedwojenny łącznik w wykonaniu ognioszczelnym

Pierwsza polska norma obejmująca zagadnienia bezpieczeństwa przeciwybuchowego dla przemysłu chemicznego określała dużo bardziej precyzyjne przedmiotowe zagadnienia niż np. odpowiadające im przepisy francuskie. Wydane 18 czerwca 1963 r. przepisy (*Au matériel électrique a enveloppe antidéflagrante utilisable dans les lieux autres que les mines grisoutenses*) [8], [9] nie zawierały np. wymagań dotyczących urządzeń przeznaczonych do stosowania w atmosferach, w których występuje wodór lub acetylen. Polska Norma z roku 1963 wprowadzała m.in. podział na grupy zapłonowe (G1 - G5), podział na klasy wybuchowości w zależności od prześwitów złączy ognioszczelnych (I, II, III, IV), oznakowanie znakiem Ex wraz z

oznaczeniem rodzaju budowy przeciwybuchowej. Na rysunku 8 przedstawiono pierwszą polską normę dotyczącą urządzeń przeciwybuchowych w przemyśle chemicznym oraz odpowiadające jej przepisy francuskie.

W roku 1972, wraz z wydaniem nowych edycji Polskich Norm z zakresu bezpieczeństwa przeciwybuchowego, wymagania ogólne dotyczące zarówno urządzeń górniczych, jak i urządzeń dla przemysłu chemicznego zostały zebrane w jednej, wspólnej normie PN-72/E-08110 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wymagania i badania wspólne dla różnych rodzajów budowy* [10]. Wymagania odnoszące się do osłon ognioszczelnych zebrano natomiast w normie PN-72/E-08116 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Urządzenia z osłoną ognioszczelną. Ogólne wymagania i badania* [11].

Normy z roku 1972 wprowadziły podział na klasy bezpieczeństwa urządzeń (klasy wybuchowości) na stosowane do dzisiaj: grupę I – górnictwo, grupę II z podziałem na IIA, IIB oraz IIC – przemysł chemiczny. Ponadto wprowadzono podział na grupy zapłonowe zgodne z późniejszymi klasami temperaturowymi T1–T6. Utrzymane zostało oddzielne cechowanie urządzeń (B – dla urządzeń górniczych, Ex – dla urządzeń stosowanych w przemyśle chemicznym). Urządzenia w osłonie ognioszczelnej oznaczane były symbolem BM (urządzenia górnicze) lub np. Ex-M II B T3 (urządzenie dla klasy bezpieczeństwa IIB, grupy zapłonowej T3).

Normy z roku 1972 zostały zastąpione serią odpowiadających im norm w roku 1983. Podstawową normą stała się norma PN-83/E-08110 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wspólne wymagania i badania* [12]. Wymagania



Rys. 8. Pierwsza polska norma dotycząca urządzeń przeciwybuchowych dla przemysłu chemicznego (PN-63/E-08102) i odpowiadające jej przepisy francuskie

odnośnie do urządzeń w osłonie ognioszczelnej zawarto w normie PN-83/E-08116 *Elektryczne urządzenia przeciwwybuchowe. Osłony ognioszczelne. Wymagania i badania* [13]. Podstawowymi zmianami wprowadzonymi przez normy z lat 80. wieku XX były: wspólne oznakowanie znakiem Ex (urządzeń górniczych oraz chemicznych), wprowadzenie symboli określających poszczególne rodzaje wykonania przeciwwybuchowego zgodnego z systemem międzynarodowym (np. d dla urządzeń ognioszczelnych) oraz wprowadzenie wymagania bezpieczeństwa przeciwwybuchowego w warunkach wewnętrznego zwarcia (dla urządzeń górniczych).

Wymaganie prowadzenia badań zwarciovych przestało obowiązywać z chwilą wprowadzenia w Polsce norm europejskich serii EN 50014. Należy uznać to za krok wstecz w zakresie bezpieczeństwa przeciwwybuchowego. Temat badań zwarciovych wciąż powraca w badaniach prowadzonych w krajach, w których podziemne górnictwo węglowe jest dobrze rozwinięte, np. w Australii czy Stanach Zjednoczonych. [14], [15], [16], [17]. W Polsce ze względu na bogaty dorobek badawczy w tym zakresie również powstają nowe opracowania dotyczące bezpieczeństwa urządzeń przeciwwybuchowych w warunkach wewnętrznego zwarcia [18].

W roku 1997 wprowadzono w Polsce normy europejskie. Normy serii EN 50014 zasługują na kilka słów komentarza. Zostały opracowane poza ogólnosiwiatowymi organizacjami normalizacyjnymi IEC³ oraz ISO⁴. Z punktu widzenia normalizacji międzynarodowej odpowiadały one poziomowi norm regionalnych, krajowych. I jak słusznie podejrzewano od samego początku okazały się „ślepa uliczka”.

Tworzenie norm lokalnych, nawet jeśli taki rynek tworzy grupa krajów (np. Unia Europejska) nie jest zgodne z ideą normalizacji. Normy europejskie serii EN 50014 obecne w Europie od roku 1977, a przyjęte (po zmianach) w Polsce w roku 1997 zostały zastąpione w roku 2006 przez międzynarodowe (w sensie ogólnosiwiatowym) normy serii IEC 60079. Obrazem tych zmian jest np. metoda znakowania urządzeń. Do chwili wprowadzenia w Polsce norm europejskich urządzenia oznaczane były symbolem Ex. Wraz z przyjęciem norm serii EN 50014 oznaczenie miało postać EEx, by w roku 2006 z przyjęciem norm ogólnosiwiatowych powrócić do oznakowania Ex. Ostatnie 20 lat było szczególnie kłopotliwe dla polskich producentów urządzeń przeciwwybuchowych. Zmiany norm wymagały ciągłych zmian konstrukcji wytwarzanych urządzeń. O ile w latach poprzednich nowe edycje norm były wydawane średnio co 10 lat,

tak od roku 1993 wytwórcy musieli się podporządkować wymogom następujących norm:

- PN-83/E-08110,
- PN-EN 50014:1997,
- PN-EN 50014:2002,
- PN-EN 50014:2004,
- PN-EN 60079-0:2006,
- PN-EN 60079-0:2009.

Należy pamiętać, że producenci z państwa tzw. „starej unii” w tym samym czasie doświadczyli jedynie przejścia na normy IEC (serii 60079). Charakterystyczne zmiany w polskiej normalizacji w zakresie norm przeciwwybuchowych zebrano w tabeli 1.

3. Przedwojenne uregulowania prawne

Zagadnienia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego znalazły swoje odzwierciedlenie w przedwojennym prawodawstwie. W wydanym w roku 1928 rozporządzeniu Ministrów Przemysłu i Handlu, Pracy i Opieki Społecznej oraz Spraw Wewnętrznych o przechowywaniu i magazynowaniu olejów mineralnych przez zakłady przemysłowe [18], wprowadzono podział olejów na klasy:

- pierwszą – do której zaliczono oleje mineralne o temperaturze zapłonicenia⁵ poniżej 21°C,
- drugą – do której zaliczono oleje mineralne o temperaturze zapłonicenia w granicach od 21°C do 50°C,
- trzecią – do której zaliczono oleje mineralne o temperaturze zapłonicenia powyżej 50°C (ale do 100°C).

Wspomniane rozporządzenie wprowadza również wymóg stosowania oświetlenia, które jest „urządzone w myśl przepisów o oświetlaniu kopalń”. Wydanie w roku 1934 Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 29 sierpnia 1934 r. o budowie i stanie technicznym wytwornic acetylenowych [19] również odnosi się do bezpieczeństwa przeciwwybuchowego. Znaczny fragment poświęcono *urządzeniom zabezpieczającym*. Ponadto sprecyzowano, podobnie jak w obecnych przepisach, konieczność podawania pewnych informacji na tabliczce oznaczeniowej, np:

- nazwę, firmę oraz siedzibę wytwórcy,
- rok budowy,
- numer fabryczny,
- numer dopuszczenia wraz z literą rozpoznawczą.

Dopuszczenie wydawane było przez Ministra Przemysłu i Handlu na podstawie m.in. przedłożonej dokumentacji konstrukcyjnej oraz badań przeprowadzonych przez „upoważnionego rzeczoznawcę”.

3 IEC – International Electrotechnical Commission – Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna

4 ISO – International Organization for Standardization – Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna.

5 Temperatura zapłonicenia odpowiada obecnie używanemu terminowi temperatura zapłonu.

Każda wyprodukowana wytwornica również podlegała badaniom przez rzeczoznawcę, który stwierdzał zgodność z zatwierdzoną dokumentacją. Uregulowania dotyczące przechowywania karbidu również odnosiły się do normy dotyczącej wykonania przeciwwybuchowego:

Jeśli do oświetlenia pomieszczenia składowego ma być użyte oświetlenie sztuczne, wówczas do tego oświetlenia powinny być użyte żarówki elektryczne, zaopatrzone w armaturę gazoszczelną, przy-

czem instalacja elektryczna (bezpieczniki, wyłączniki itp.) powinny znajdować się nazewnątrz pomieszczenia składowego i być od niego gazoszczelnie oddzielone lub powinny odpowiadać normom Stowarzyszenia Elektryków Polskich PNE 10, PNE 17 i PNE 30, dotyczącym pomieszczeń, w których znajdują się gazy wybuchowe lub pył węglony [20].

Tabela 1. Polskie normy dotyczące urządzeń przeciwybuchowych

Norma	Uwagi
PNE-17:1929 <i>Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego w podziemiach kopalni</i>	Pierwsza polska norma. Obejmuje jedynie urządzenia górnicze. Szczegółowe wymagania podano w Dodatku: <i>Wskazówki budowy maszyn, transformatorów i przyrządów, przeznaczonych do pracy w gazach wybuchowych</i> Norma wznawiana (ze zmianami) w latach 1930, 1946.
PN-57/E-08101 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla górnictwa węglowego. Przepisy konstrukcyjne</i>	Norma obejmuje urządzenia budowy ognioszczelnej i z osłoną płytkową (oznaczane BM) oraz budowy wzmocnionej i z osłoną olejową (oznaczane BW).
PN-63/E-08102 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla przemysłu chemicznego i pokrewnych. Przepisy konstrukcyjne</i>	Pierwsza norma w zakresie urządzeń przeciwybuchowych dla przemysłu pozagórniczego. Wprowadza podział na grupy zapłonowe (G1, G2, G3, G4 oraz G5), podział na klasy wybuchowości w zależności od przeswitów złączy ognioszczelnych (I, II, III, IV), oznakowanie znakiem Ex wraz z oznaczeniem rodzaju budowy przeciwybuchowej: Ex-M dla osłony ognioszczelnej, Ex-W dla budowy wzmocnionej, Ex-Z dla osłony piaskowej, Ex-C dla osłony gazowej pod ciśnieniem, Ex-O dla osłony olejowej, Ex-P dla osłony przewietrzanej, Ex-I dla budowy specjalnej.
PN-72/E-08110 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wymagania i badania wspólne dla różnych rodzajów budowy</i>	Wspólna norma dla urządzeń górniczych i chemicznych (zastępuje PN-67/E-08101 oraz PN-63/E-08102). Wprowadza podział na klasy bezpieczeństwa urządzeń (wybuchowości): grupa I – górnictwo, grupa II (z podziałem na IIA, IIB oraz IIC) – przemysł chemiczny. Podział na grupy zapłonowe zgodne z późniejszymi klasami temperaturowymi T1–T6. Utrzymane zostało oddzielne cechowanie urządzeń (B – dla urządzeń górniczych, Ex – dla urządzeń przemysłu chemicznego). Urządzenia w osłonie ognioszczelnej oznaczane były BM (urządzenia górnicze) lub np Ex-M II B T3 (urządzenie dla klasy bezpieczeństwa IIB, grupy zapłonowej T3). Wymagania szczegółowe odnośnie do poszczególnych rodzajów budowy przeciwybuchowej zawarto w oddzielnych normach. W przypadku osłon ognioszczelnych np. w normie PN-72/E-08116 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Urządzenia z osłoną ognioszczelną. Ogólne wymagania i badania.</i>
PN-83/E-08110 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wspólne wymagania i badania</i>	Wprowadza wspólne oznakowanie znakiem Ex (urządzeń górniczych oraz chemicznych), wprowadzenie symboli określających poszczególne rodzaje wykonania przeciwybuchowego zgodnego z systemem międzynarodowym: d – osłona ognioszczelna, i – wykonanie iskrobezpieczne, e – budowa wzmocniona, o – osłona z wypełnieniem cieczowym, p – osłona przewietrzana lub z nadciśnieniem, q – osłona z wypełnieniem piaskowym, s – budowa specjalna. Wprowadza wymagania bezpieczeństwa przeciwybuchowego w warunkach wewnętrznego zwarcia (dla urządzeń górniczych).
PN-EN 50014:1997 <i>Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem -- Wymagania ogólne</i>	Wprowadza oznakowanie EEx, odstępianie od badań w warunkach wewnętrznego zwarcia. Norma zharmonizowana z dyrektywą 94/9/WE (tzw. ATEX).
PN-EN 60079-0 <i>Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem -- Część 0: Wymagania ogólne</i>	Wprowadzenie oznakowania Ex. Norma IEC (ogólnoświatowa).

4. Rozwój metod badania osłon ognioszczelnych

Postęp w zakresie normalizacji był odzwierciedleniem rozwoju metod badania i także potwierdzania bezpieczeństwa osłon ognioszczelnych. Rozwój ten opierał się oczywiście na postępie technicznym oraz coraz dokładniejszym poznaniu mechanizmu zabezpieczenia przed wybuchem. Polska wpisała się w ogólnoeuropejskie trendy występujące w państwach, w których wydobywanie węgla kamiennego miało znaczący udział w gospodarce i podobnie jak w Wielkiej Brytanii czy Niemczech powołano niezależną jednostkę badawczą zajmującą się szeroko pojętym bezpieczeństwem górnictwem. Jednym z aspektów tego bezpieczeństwa było i jest bezpieczeństwo przeciwybuchowe.

Kopalnia Doświadczalna „Barbara” powstała w roku 1925 na mocy ustawy sejmowej i była pierwszą w Polsce stacją doświadczalną zajmującą się problemami bezpieczeństwa pracy w górnictwie. W roku 1926 przeniesiono ją z Pniowca do Mikołowa w celu prowadzenia prac badawczych dotyczących zwalczania zagrożenia wybuchem metanu i pyłu węglowego oraz ratownictwa górnictwa. Kopalnia Doświadczalna „Barbara” w myśl normy PNE-17:1929 była „miarodajną polską stacją doświadczalną”, przeprowadzała badania i wydawała odpowiednie „atesty”.

Pierwsze urządzenia przeciwybuchowe w osłonie ognioszczelnej, według wymagań normy PNE-17:1929 poddawane były jedynie badaniu wytrzymałości mechanicznej ciśnieniem statycznym oraz kontroli wymiarów szczelin ognioszczelnych. Dopiero norma PN-57/E-08101 wprowadziła wymagania przeprowadzania prób wybuchowych, rozpatrując niezależnie obydwie warunki bezpieczeństwa osłony ognioszczelnej: wytrzymałość mechaniczną na ciśnienie wybuchu (określone w normie) oraz sprawdzenie zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu. Próbę nieprzenoszenia się wewnętrznego wybuchu przeprowadzono w mieszaninie gazu wybuchowego, ale nie stosowano marginesów bezpieczeństwa, tzn. urządzenia górnictwa, dla których występuje zagrożenie metanem badano w mieszaninie metanu z powietrzem.

Pierwsza norma dotycząca urządzeń dla przemysłu chemicznego, (wydana w 1963 r.) obejmowała również wymagania badawcze, wprowadziła już obowiązek przeprowadzania prób wybuchowych – pomiaru ciśnienia wybuchu oraz sprawdzenia zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu. Badanie nieprzenoszenia się wybuchu również wykonywano bez marginesu bezpieczeństwa z wyjątkiem urządzeń klasy wybuchowości IV (od-

powiadające dzisiejszej podgrupie IIC), dla których stosowano 50% margines bezpieczeństwa.

W latach 70. Wieku XX, zgodnie z normą PN-72/E-08116 przeprowadzano zarówno pomiar ciśnienia wybuchu, jak i badanie zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu. Co ciekawe, jako mieszaniny probiercze do wyznaczania ciśnienia wybuchu w większości przypadków używano mieszanin trzyskładnikowych (wodór-metan-powietrze) o składzie zmieniającym się w zależności od klasy bezpieczeństwa urządzenia. Takie mieszaniny stosowano do badania urządzeń odpowiadającym obecnym podgrupom wybuchowości I, IIA oraz IIB. Podobnie jak w wymaganiach norm z wcześniejszych edycji, margines bezpieczeństwa podczas próby nieprzenoszenia się wybuchu zachowywano jedynie dla urządzeń odpowiadających obecnej podgrupie IIC.

Metody badań zgodne z obecnie ustalonymi zasadami wprowadzono wraz z ustanowieniem normy PN-83/E-08116. Zaczęto stosować różne mieszanki gazowe dla określania maksymalnego ciśnienia wybuchu oraz dla próby nieprzenoszenia się wybuchu, które to badanie wykonywano z uwzględnieniem odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa.

Margines bezpieczeństwa zapewniano przez wykonywanie prób mieszaniną o mniejszej wartości MESG⁶ (maksymalny eksperymentalny prześwit bezpieczny) niż MESG mieszaniny „charakterystycznej” dla danej grupy wybuchowości.

Począwszy od lat 80. wieku XX zasadnicze badania osłon ognioszczelnych (pomiar ciśnienia wybuchu oraz sprawdzanie zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu) nie ulegały zmianom – w normach PN-EN 50018 oraz PN-EN 60079-1 stosowane są takie same mieszanki testowe.

Metody badań wymagane przez Polskie Normy były podobne do wymagań zawartych w normach innych państw europejskich. Wyjątkiem są lata 80., kiedy to w Polskich Normach zawarto wymagania dotyczące badań w warunkach zwarcia zarówno przez określenie maksymalnego ciśnienia wybuchu w warunkach zwarcia, jak i próby nieprzenoszenia się wybuchu. Badania te dotyczyły tylko niektórych urządzeń górnictwa i zostały zaniechane z chwilą przyjęcia w Polsce norm europejskich.

⁶ MESG jest parametrem charakterystycznym gazu palnego. Wyznaczany jest za pomocą znormalizowanej metody. Jego wartość podawana jest w milimetrach. Szczegółowa metodyka oraz wielkości MESG dla charakterystycznych gazów podano w normie międzynarodowej *Atmosfery wybuchowe. Część 20-1: Właściwości materiałowe dotyczące klasyfikacji gazów i par – Metody badań i dane tabelaryczne* [19].

Wymóg badań zwarciovych łączył bezpieczeństwo przeciwwybuchowe z bezpieczeństwem użytkowania (ruchowym). Podczas badań zwarciovych wykonywano pomiar ciśnienia wybuchu w warunkach wewnętrznego zwarcia, tzn. przeprowadzany był pomiar wybuchu mieszaniny metanu z powietrzem (9,8% CH₄ + powietrze) dla zwarcia trójfazowego o parametrach 1000 V, 10 kA – czas zwarcia wynosił 100 ms.

Drugim badaniem było sprawdzenie zabezpieczenia przed wyrzutem rozżarzonych cząstek. Badanie to, podobnie jak próba nieprzenoszenia się wybuchu, sprawdzało poprawność konstrukcji urządzenia pod względem zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu. Wnętrze oraz komorę badawczą (na zewnątrz urządzenia)

wypełniano mieszaniną metanu z powietrzem (7,5% CH₄ + powietrze). Próbę przy identycznych parametrach zwarciovych wykonywano trzykrotnie. Podczas badań oceniano również przyrosty temperatur elementów osłony ognioszczelnych [13]. Obecnie (2013 r.) badania zwarciovie nie odnoszą się do bezpieczeństwa przeciwwybuchowego – są wykonywane jako część badań lukochronności i lukoodporności bez udziału gazu palnego (metanu). Metodyka oceny w żadnym stopniu nie odnosi się do warunków pracy w warunkach zagrożenia wybuchem.

Charakterystyczne zmiany w znormalizowanych metodach badania osłon ognioszczelnych zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Metody badania osłon ognioszczelnych – zmiany w wymaganiach norm

Norma	Wymaganie
PNE-17:1929 <i>Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego w podziemiach kopalni</i>	Badanie wytrzymałości nadciśnieniem wewnętrznym: 8 atm. w przypadku osłon o objętości powyżej 1 litra oraz 3 atm. dla mniejszych osłon. Kontrola wymiarów przejść ognioszczelnych. Wymagania podano jedynie dla złączy płaskich (wymagana długość) oraz dla przejść wałów (długość i prześwit). W przypadku przejść wałów silników elektrycznych minimalna długość złącza określona na 50 mm.
PN-57/E-08101 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla górnictwa węglowego. Przepisy konstrukcyjne</i>	Próba osłon na ciśnienie: Badanie ciśnieniem statycznym za pomocą wody. Ciśnienie probiercze: 6 kG/cm ² w przypadku osłon o objętości 0,05–0,1 dcm ³ oraz 8 kG/cm ² w przypadku osłon o objętości powyżej 0,1 dcm ³ . Próba osłon na wybuch metanu: badanie nieprzenoszenia się wybuchu w komorze badawczej, z zastosowaniem mieszaniny około 9% metanu i około 91% powietrza. Próba wykonywana sześć razy.
PN-63/E-08102 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla przemysłu chemicznego i pokrewnych. Przepisy konstrukcyjne</i>	Pierwsza norma wymagająca przeprowadzenia pomiaru ciśnienia wybuchu. Pomiar wykonywany jest mieszaniną gazową odpowiedniej dla każdej z klas wybuchowości (I, II, III, IVa, IVb, IVc, IVn). Pomiar wykonywany dla pięciu wybuchów. Próba wytrzymałości mechanicznej osłony – ciśnieniem wartości maksymalnego ciśnienia wybuchu. Wymagana próba nieprzenoszenia się wybuchu – stosowanie identycznych mieszanek gazowych jak podczas wyznaczania ciśnienia wybuchu. Próba wykonywana 10-krotnie.
PN-72/E-08110 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wymagania i badania wspólne dla różnych rodzajów budowy</i>	Wspólna norma dla urządzeń górniczych i chemicznych. Wymagane przeprowadzanie pomiaru ciśnienia wybuchu dla każdej klasy bezpieczeństwa urządzenia (I, IIA, IIB, IICa, IICb). Pomiar (z wyjątkiem klasy IICa, IICb) wykonywany mieszaniną trójskładnikową (metan-wodór-powietrze) w różnych proporcjach. Pomiar wykonywano 3-krotnie, w przypadku występowania rozrzutu mierzonych wielkości - wykonywano dodatkowe dwie próby. Badanie osłony pod ciśnieniem – o 1,5-krotnej wartości ciśnienia wybuchu. Badanie zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu – mieszaniny o tym samym składzie jak podczas pomiaru ciśnienia wybuchu. W przypadku silników elektrycznych badanie w ruchu i w spoczynku. Próba wykonywana 10 razy.
PN-83/E-08110 <i>Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wspólne wymagania i badania</i>	Pomiar ciśnienia wybuchu mieszaninami probierczymi gazów charakterystycznych dla każdej grupy wybuchowości: <ul style="list-style-type: none"> • grupa I 9,8% metanu + powietrze • grupa IIA 4,6% propanu + powietrze • grupa IIB 8% etylenu + powietrze oraz w przypadku spiętrzeń 20,4% wodoru + 3,6% metanu + powietrze, • grupa IIC 31% wodoru + powietrze oraz 8% acetylenu + powietrze. Pomiar wykonywany co najmniej 3-krotnie. W przypadku pewnych urządzeń grupy I (górnictwo) – pomiar ciśnienia w warunkach zwarcia (w mieszaninie metanowej). Sprawdzenie zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu – wykonywane „ostrzejszymi mieszaninami” gazowymi – z zachowaniem marginesu bezpieczeństwa. Badanie wykonywane 5-krotnie. W przypadku pewnych urządzeń grupy I (górnictwo) – badanie również w warunkach zwarcia (w mieszaninie metanowej).
PN-EN 50018:2000 <i>Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem - Osłony ognioszczelne "d"</i>	Odstąpiono od „badań zwarciovych” Sprecyzowano wymagania techniczne odnośnie do układu pomiaru ciśnienia wybuchu.
PN-EN 60079-1 <i>Atmosfery wybuchowe - Część 1: Ochrona urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych</i>	Uzupełniono o wymagania odnośnie do badań w temperaturach poniżej -20°C oraz powyżej +60°C.
Uwaga: Nazwy badań oraz jednostki miar w normach historycznych podano zgodnie z oryginałami. Więcej informacji na temat badań w niskich temperaturach podano w [22].	

5. Podsumowanie

Rozwój świadomości bezpieczeństwa przeciwybuchowego, a co za tym idzie rozwój wymagań prawnych i technicznych w tym zakresie przebiegał w Polsce podobnie jak w innych uprzemysłowionych krajach. Górnictwo rodowod bezpieczeństwa przeciwybuchowego nie jest czymś odbiegającym od rozwiązań w innych krajach.

Z rozwojem metodyki badawczej, zmianami w Polskich Normach, opracowywaniem nowych aktów prawnych, jest ściśle związana historia Kopalni Doświadczalnej „BARBARA” w Mikołowie, która określana była jako „jedyna miarodajna stacja doświadczalna”.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa, Kronika techniki, Wydawnictwo "Kronika", 1992.
- [2] Frączek J., Aparatura przeciwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, 1995.
- [3] PNE-17 Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego w podziemiach kopalń, Polski Komitet Elektrotechniczny (SEP), 1930.
- [4] PN/E-05050 Przepisy budowy urządzeń elektrycznych w podziemiach kopalń (projekt normy).
- [5] PN-57/E-08101 Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla górnictwa węglowego. Przepisy konstrukcyjne.
- [6] PN-63/E-08102 Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe dla przemysłu chemicznego i pokrewnych. Przepisy konstrukcyjne.
- [7] Praca zbiorowa, Rozwój przemysłu maszyn i aparatów elektrycznych w Polsce, Wydawnictwo przemysłu maszynowego WEMA, 1970.
- [8] Journal Officiel de la Republique Française no 1207/1967, Mines grisouteuses. Règles d'agrément du matériel électrique, des lampes de sûreté à flamme et des locomotives à combustibles liquides., 1967.
- [9] Journal Officiel de la Republique Française no 1228/1966, Matériel électrique utilisable dans les atmospères explosives..
- [10] PN-72/E-08110 Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wymagania i badania wspólne dla różnych rodzajów budowy.
- [11] PN-72/E-08116 Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Urządzenia z osłoną ognioszczelną. Ogólne wymagania i badania.
- [12] PN-83/E-08110 Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Wspólne wymagania i badania.
- [13] PN-83/E-08116 Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Osłony ognioszczelne. Wymagania i badania.
- [14] Boring C.M., Porter K.J., Criteria for Approval of Mining Equipment Incorporating On-Board Switching oh High-Voltage Circuits, Technical Support ACC Division of Electrical Safety.
- [15] Birtwhistle D., Byers K., Potential Hazards due to Fault Arcing in Underground Coal Mines, Australian Coal Journal, 1993.
- [16] Groh H., Explosion Protection. Electrical Apparatus and Systems for Chemical Plants, Oil and Gas Industry, Coal Mining, Expert Verlag GmbH, 2004.
- [17] Bottrill G., Cheyene D., Vijayar G., Practical Electrical Equipment and Installations in Hazardous Areas, Newnes IDC Technologies, 2005.
- [18] Kałuża G., Możliwość powstania zwarcia łukowego podczas wybuchu metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 3(187)/I/2010, 2010.
- [19] Rozporządzenie Ministrów Przemysłu i Handlu, Pracy i Opieki Społecznej oraz Spraw Wewnętrznych z dnia 13 kwietnia 1928 r., wydane w porozumieniu z Ministrem Robót Publicznych o przechowywaniu i magazynowaniu olejów mineralnych przez zakłady przemysłowe, Dziennik Ustaw nr 53, Poz. 508 z 1928 r., 1928.
- [20] Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 29 sierpnia 1934, o budowie i stanie technicznym wytwornic acetylenowych, Dziennik Ustaw nr 79, Poz. 741 z 1934 r., 1934.
- [21] Rozporządzenie Ministrów: Przemysłu i Handlu, Opieki Społecznej oraz Spraw Wewnętrznych z dnia 15 lipca 1935 r., o przechowywaniu karbidu przez zakłady przemysłowe, Dziennik Ustaw nr 59 poz. 383 z 1935 r., 1935.
- [22] Górny M., Ciśnienie wybuchu we wnętrzu ognioszczelnych silników indukcyjnych w niskich temperaturach, Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne nr 80, s. 99–105, 2008.
- [23] PN-EN 60079-20-1:2013 Atmosfery wybuchowe. Część 20-1: Właściwości materiałowe dotyczące klasyfikacji gazów i par – Metody badań i dane tabelaryczne.

Informacje dodatkowe o autorze.

dr inż. Michał Górny, kierownik Zakładu Bezpieczeństwa Przeciwybuchowego Kopalni Doświadczalnej „BARBARA” GIG.

m.gorny@gig.eu

www.kdbex.eu

* K O N I E C *