

Gerard Kaluża

Główny Instytut Górnictwa, Kopalnia Doświadczalna „BARBARA”, Mikołów

POMIARY TEMPERATURY W PROCESIE BADAŃ URZĄDZEŃ W WYKONANIU PRZECIWWYBUCHOWYM

TEMPERATURE MEASUREMENTS IN THE PROCESS OF TESTING EXPLOSION-PROOF DEVICES

Streszczenie: Pomiary temperatury stanowią jeden z podstawowych etapów badań urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym. W artykule omówiono podstawowe zagadnienia związane z procesem pomiaru temperatury maksymalnej oraz rozkładu temperatur wewnątrz i na zewnątrz urządzeń. Przedstawiono również wymagania dotyczące konstrukcji, mocowania i stosowania termopar.

Abstract: Temperature measurements are one of the basic stages of test equipment in explosion-proof protection. The article discusses the basic issues related to the process of measuring the maximum temperature and temperature distribution inside and outside devices. It also presents the requirements for the design, fastening and application of thermocouples.

Słowa kluczowe: pomiar, temperatura, klasa temperaturowa, termopara

Keywords: measurement, temperature, temperature class, thermocouple

1. Wstęp

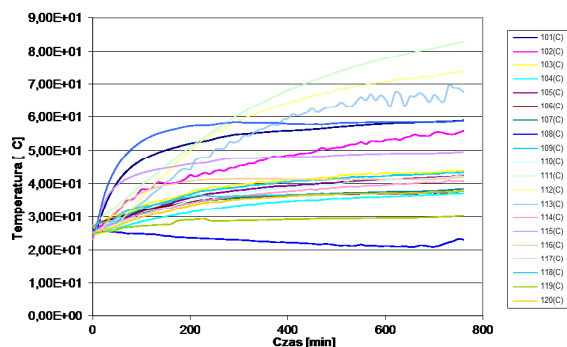
Urządzenia w wykonaniu przeciwwybuchowym, przed ich wprowadzeniem do obrotu (I), podlegają ocenie zgodności wg rozporządzenia z dnia 06.06.2016r. [1] (dyrektywy ATEX (II)). W procesie oceny zgodności istotną częścią weryfikacji urządzenia są badania. Zakres prowadzonych badań zależy od rodzaju wykonania przeciwwybuchowego. Normy zharmonizowane (III) stosowane w celu wykazania zgodności z zasadniczymi wymaganiami zdrowia i bezpieczeństwa zawierają podstawowe „procedury” badawcze. W szczególnych przypadkach, w sytuacji braku procedur normowych, wymagane badania określa jednostka notyfikowana w obszarze dyrektywy.

Jednym z podstawowych badań certyfikacyjnych jest wyznaczenie maksymalnych temperatur urządzenia. Dotyczy to zarówno powierzchni obudowy jak i jej wnętrza, przy czym w określonych przypadkach należy uwzględnić oprócz przyjętych warunków otoczenia (pracy) i parametrów znamionowych również wymagane normami szczególne warunki uszkodzeń urządzeń.

2. Pomiary temperatury urządzeń z osłoną ognioszczelną (IV)

Cechą charakterystyczną tego rodzaju zabezpieczenia przeciwwybuchowego jest to, że we wnętrzu osłony w trakcie normalnej pracy może

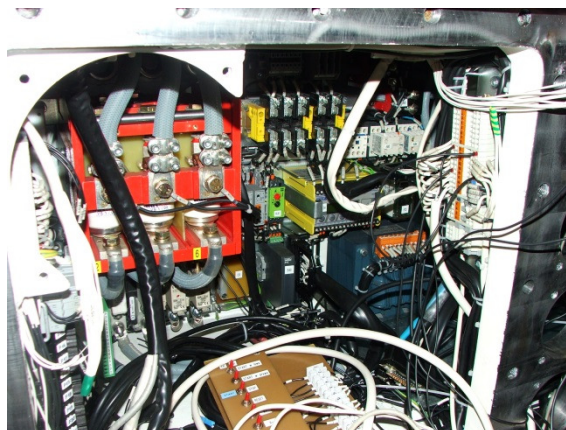
znajdować się efektywne źródło zapłonu (V) np. rozgrzane elementy, iskrzące obwody. Z racji takiego wykonania, z punktu widzenia możliwości zapalenia otaczającej urządzenie atmosfery wybuchowej, istotna jest maksymalna temperatura powierzchni zewnętrznej. Należy jednak pamiętać o pewnej szczególnej kwestii. We wnętrzu osłony ognioszczelnej mogą być zainstalowane komponenty w wykonaniu przeciwwybuchowym. Dla tych elementów określona jest, w trakcie ich certyfikacji, maksymalna temperatura pracy (otoczenia). Jest to w takim przypadku temperatura we wnętrzu osłony ognioszczelnej, w miejscu zainstalowania komponentów. Przekroczenie tej temperatury jest równoznaczne z pozbawieniem komponentów wykonania przeciwwybuchowego. Z tego względu należy poznać (wyznaczyć) wewnętrzny rozkład temperatur w osłonie. Jak pokazuje doświadczenie temperatura we wnętrzu osłony ognioszczelnej urządzenia zasilającego/mocy (np. wyłącznik, sterownik mocy itp.) może różnić się w znacznym stopniu. Na Rys. 1 przedstawiono przykład rozkładu temperatur we wnętrzu osłony ognioszczelnej skrzyni aparatury elektrycznej zasilającej wyposażenie elektryczne kombajnu. Rys.2 pokazuje fragment wyposażonej osłony ognioszczelnej.



Rys. 1. Przykład rozkładu temperatur we wnętrzu osłony ognioszczelnej

	Czas nagrzewania 760 min
101 – zacisk stycznika organu	75,9
102 – nad stycznikiem organu	72,9
103 – nad modułami elektroniki	61
104 – nad sterownikiem	54,3
105 – obok wewnętrznego czujnika temp.	59,5
106 – nad zabezpieczeniem upływowym	54,8
107 – nad modułami elektroniki zabezpieczeniowej	55,6
108 – temp. otoczenia	23
109 – nad zasilaczami iskrobezpiecznymi	60,5
110 – nad zasilaczami iskrobezpiecznymi	59,3
111 – na rdzeniu transformatora posuwu; 150 kVA	99,9
112 – na uzwojeniu transform. posuwu; 150 kVA	90
113 – nad transform. posuwu; 150 kVA	84,7
114 – nad rozłącznikiem głównym	57,8
115 – na izolatorze w komorze przyłączeniowej	66,7
116 – pomiędzy uszczelką we wpuście a kablem zasilającym blok	59,1
117 – na rozwidleniu kabla zasilającego blok	75,9
118 – nad falownikiem bloku	54,9
119 – na rezystorze hamowania	47,3
120 – nad inwerterem	54,9

Jak można zauważyć różnica temperatur we wnętrzu przedstawionej osłony ognioszczelnej osiąga wartość 50°C. Ma to istotny wpływ na sposób rozmieszczenia komponentów w wykonaniu przeciwybuchowym (np. zasilaczy iskrobezpiecznych (VI)). Maksymalne temperatury we wnętrzu osłony jak i na zewnątrz należy wyznaczyć dla najgorszych warunków tzn. maksymalnego obciążenia po ustabilizowaniu termicznym. W przypadkach uzasadnionych istotnym może okazać się sposób instalowania urządzenia (położenie przestrzenne). Dla urządzeń w osłonie ognioszczelnej (duża pojemność cieplna) czas nagrzewania wynosi minimum kilka godzin.



Rys. 2. fragment wyposażonej osłony ognioszczelnej

Badania w warunkach maksymalnego obciążenia z reguły wymagają zastosowania zasilania zastępczego obwodów siłowych w postaci transformatorów prądowych (prądy rzędu kilkudziesięciu do kilkuset amperów). Przykład tak zestawionego stanowiska przedstawia rys.3.



Rys. 3. Stanowisko badania nagrzewania

W celu uzyskania pożądaných wyników (określenia miejsc o temperaturach maksymalnych i zmierzenie ich wartości) wskazane jest posłużyć się termowizją dla zlokalizowania miejsc najcieplejszych i wykonanie pomiaru metodą kontaktową (termopary, PT100 itp.).

Pomiar temperatury zewnętrznych powierzchni osłony kamerą (skanerem) termowizyjną jest możliwy lecz wymaga poprawnego określenia współczynnika emisyjności, co może stanowić trudność dla mniej doświadczonego pracownika.

3. Pomiary temperatury urządzeń zabezpieczonych za pomocą hermetyzacji (VII)

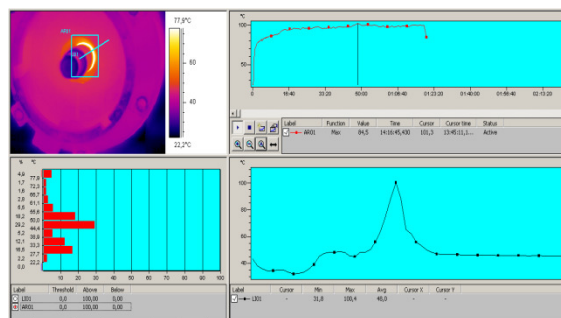
Ten rodzaj zabezpieczenia przeciwwybuchowego ma na celu odseparowanie źródeł zapłonu od atmosfery wybuchowej. Kompozyt hermetyzujący może stanowić zewnętrzną powierzchnię obudowy. Pomiar temperatury powierzchni zewnętrznej jest rzeczą standardową. W przypadku urządzeń hermetyzowanych należy pamiętać również o pomiarach temperatury elementów zahermetyzowanych. Jest to istotne z dwóch powodów:

1. w trakcie pracy urządzenia nie można przekraczać dopuszczalnej temperatury pracy zastosowanego kompozytu,
2. elementy zahermetyzowane nie mogą nadmiernie się nagrzewać.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że kompozyt hermetyzujący może posiadać inną zdolność odprowadzania ciepła niż powietrze, co może prowadzić w rezultacie do wyższych temperatur elementów otoczonych kompozytem (półprzewodniki, rezystory, akumulatory itp.).

4. Pomiar temperatury elementów ruchomych i elektronicznych o niewielkich rozmiarach

Z pomiarem elementów ruchomych mamy, na przykład, do czynienia w przypadku sprzęgieł czy uszczelnień wałów. Ten rodzaj pomiaru wymaga zastosowania metody bezdotykowej; kamera termowizyjna, skaner termowizyjny itp. Wiąże się to z koniecznością ustalenia poprawnego współczynnika emisyjności materiału mierzonego. Tok postępowania zależy od wymaganej dokładności pomiaru, którą chcemy uzyskać. Najprościej skorzystać z odpowiednich tabel (zazwyczaj jest to załącznik do przyrządu). Przy większej dokładności można mierzoną powierzchnię pokryć substancją o znanej emisyjności, względnie współczynnik wyznaczyć laboratoryjnie. Na rys. 4 przedstawiono obraz pomiaru temperatury uszczelnienia mechanicznego pompy zatapialnej.

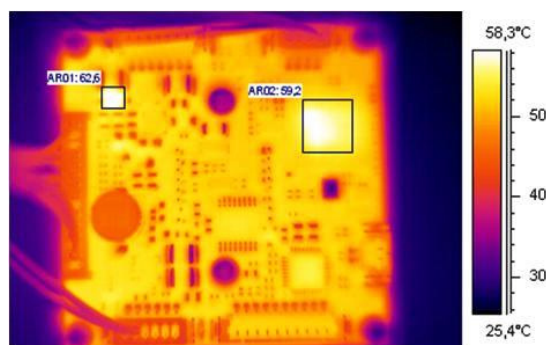


Rys. 4. Obraz termowizyjny pracującego uszczelnienia mechanicznego pompy

Wykresy liniowe w prawej części rysunku nr 4 przedstawiają:

- przebieg zmian temperatury maksymalnej na powierzchni termogramu oznaczonej AR01 w czasie pracy uszczelnienia w ciągu 1 godziny i 23 minut (przebieg górny),
- przebieg zmian temperatury wzdłuż linii termogramu oznaczonej LI01 (przebieg dolny).

W przypadku elementów elektronicznych posiadających niewielkie rozmiary (elektronika do montażu powierzchniowego) stosowanie termopar czy PT100 jest praktycznie niemożliwe. Wynika to z porównywalnej wielkości elementów mierzonych i mierzących, co powoduje istotne zaburzenie bilansu termicznego elementu mierzonego. Przykład obrazu termowizyjnego obwodu drukowanego przedstawia rys. 5. Wyniki podane obok zaznaczonych kwadratów na obrazie termowizyjnym dotyczą maksymalnych temperatur występujących na zaznaczonych powierzchniach.



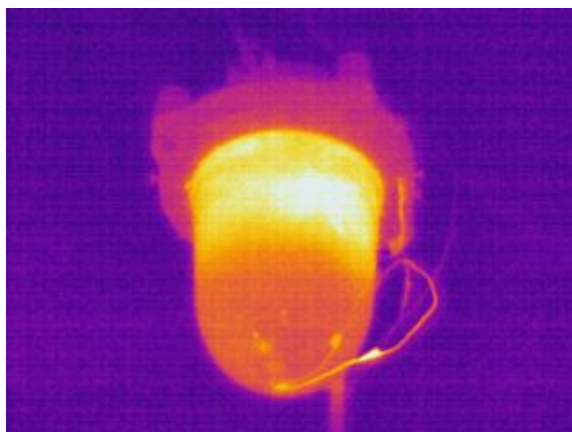
Rys. 5. Obraz termowizyjny obwodu drukowanego

Omawiając zagadnienie pomiaru temperatury urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym nie sposób pominąć pomiarów temperatury lamp i reflektorów. W lampach mamy do czynienia z powierzchnią szklaną klosza oraz

z źródłem światła (ciepła) umieszczonym we wnętrzu klosza.

Zastosowanie metody termowizyjnej pomiaru temperatury poprzez klosz jest praktycznie wykluczone, natomiast pomiar temperatury na powierzchni szklanej trudne do wykonania.

W takiej sytuacji wydaje się uzasadnione wykonanie pomiarów z wykorzystaniem termopar. Jak wykazuje doświadczenie podstawową trudnością w takiej sytuacji jest prawidłowe mocowanie termopar do powierzchni klosza. Mocowanie musi być pewne mechanicznie, odporne na temperaturę i transparentne. Mocowanie środkiem transparentnym wynika z konieczności minimalizowania wpływu pochłaniania promieniowania przez środek mocujący.



Rys. 6. Obraz termowizyjny lampy

Na rysunku 6 przedstawiono sposób złego mocowania termopar. Można zauważyć jaśniejsze plamy, czyli wyższą temperaturę, w miejscu mocowania.

5. Dokładność pomiarów

Jednym z parametrów decydujących o bezpieczeństwie przeciwwybuchowym jest temperatura urządzenia. W oparciu o jej wartość określa się klasę temperaturową.

Klasa temperaturowa (VIII)	Maksymalna temperatura powierzchni
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Aby zachować wymagany margines bezpieczeństwa termicznego dla urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym należy mierzyć temperaturę z określoną dokładnością.

Normy związane z dyrektywą ATEX podają dokładność pomiaru jako $\pm 2^{\circ}\text{C}$ lub 2% wartości wskazanej, która wartość większa.

Dokładność pomiaru zależy od zastosowanej metody pomiarowej. Jedno jest niezwykle istotne. W przypadku metod kontaktowych należy zapewnić prawidłowy sposób wykonania i montażu elementów pomiarowych; zaleca się stosowanie termopar klasy pierwszej, grubości do 0,2 mm. Dokument IEC [2] oraz ExNB [3] sugeruje mocowanie termopary do elementu mierzonego na powierzchni do 30mm^2 .

Jeżeli wykonujemy zgrzewanie termopar należy pamiętać o złączu w postaci „kuleczki”. Nie wolno skręcać pozbawionych izolacji drutów termoparowych, gdyż prowadzi to do wystąpienia zakłóceń pomiarowych.

6. Podsumowanie

- Pomiaru temperatury (nagrzewania) urządzeń wykonywane są praktycznie w przypadku oceny każdego rodzaju wykonania przeciwwybuchowego.
- Temperatury powinny być określone dla najgorszych warunków biorąc pod uwagę zasilanie, obciążenie i położenie pracy urządzenia.
- Miejsca rozlokowania punktów pomiarowych (termopar) zależą zarówno od konstrukcji jak i rodzaju wykonania przeciwwybuchowego urządzenia. Tylko doświadczony pracownik (w obszarze urządzeń Ex i pomiaru temperatury) jest w stanie wykonać tę operację prawidłowo.
- Nie należy „skręcać” drutów termoparowych przed ich zgrzewaniem w celu utworzenia złącza pomiarowego.
- Sposób mocowania termopar powinien minimalizować odprowadzanie ciepła przez termoparę.
- Zaleca się stosowanie klejów i taśm transparentnych. Dotyczy to szczególnie pomiarów wykonywanych na powierzchni kloszy lamp.

Użyte pojęcia

I. *Wprowadzenie do obrotu*; oznacza pierwsze udostępnienie produktu na rynku Unii;

Udostępnienie na rynku; oznacza dostarczenie produktu do celów dystrybucji, konsumpcji lub używania na rynku Unii

- w ramach działalności handlowej, odpłatnie lub nieodpłatnie;
- II. *ATEX* - *pochodzenie skrótu; Atmospheres Explosibles*
- III. *Normy zharmonizowane*; normy europejskie opracowane i zatwierdzone przez europejskie organizacje normalizacyjne na podstawie mandatu udzielonego przez Komisję Europejską, których numery i tytuły zostały opublikowane w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej.
- IV. *Osłona ognioszczelna „d”*; osłona, w której umieszczone są elementy mogące wywołać zapłon gazowej atmosfery wybuchowej, i która może wytrzymać ciśnienie powstające podczas wewnętrznego wybuchu mieszaniny wybuchowej, oraz która zapobiega przeniesieniu się wybuchu do gazowej atmosfery wybuchowej otaczającej osłonę.
- V. *Efektywne źródło zapłonu*; potencjalne źródło zapłonu, które jest zdolne do zapalenia atmosfery wybuchowej przy wzięciu pod uwagę czasu jego wystąpienia (tzn. podczas normalnego działania, spodziewanego wadliwego działania lub rzadko występującego wadliwego działania).
Potencjalne źródło zapłonu; źródło zapłonu związane z urządzeniem zdolne do zapalenia atmosfery wybuchowej (tzn. mogące stać się efektywnym źródłem zapłonu).
- VI. *Iskrobezpieczeństwo „i”*; rodzaj zabezpieczenia przeciwwybuchowego polegającego na ograniczeniu energii elektrycznej w urządzeniu i łączącym przewodowaniu, mającymi kontakt z atmosferą potencjalnie wybuchową, do poziomu poniżej takiego, który może spowodować zapłon zarówno w wyniku iskrzenia, jak i nagrzewania się.
- VII. *Hermetyzacja „m”*; rodzaj zabezpieczenia, w którym części zdolne do zapalenia atmosfery wybuchowej wskutek iskrzenia bądź nagrzewania są zamknięte w zalewie w taki sposób, aby uniknąć zapłonu warstwy pyłu lub atmosfery wybuchowej podczas pracy lub instalowania urządzenia.

VIII. *Klasa temperaturowa*; w sposób kodowy przedstawiona maksymalna temperatura powierzchni urządzenia.

Należy pamiętać, że dotyczy to powierzchni niechronionej rodzajem wykonania przeciwwybuchowego.

Przykład:

- dla osłony ognioszczelnej jest to temperatura powierzchni zewnętrznej osłony,
- dla budowy wzmocnionej jest to temperatura elementów wewnętrznych bądź powierzchni zewnętrznej (która większa).

7. Literatura

- [1]. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 06.06.2016r w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej; DU z 09.06.2016r. poz. 817.
- [2]. Operational procedure CTL-PO 108 IECCE.
- [3]. Clarification Sheet ExNB/00/023/CS.