

*Łukasz Surowy**

ZASTOSOWANIE SYSTEMU TERMOWIZYJNEGO DO OKREŚLANIA PRAWDOPODOBNEGO ŹRÓDŁA ZAPŁONU GAZOWEJ ATMOSFERY WYBUCHOWEJ

Streszczenie

Sprawdzenie poprawności konstrukcji i wykonania osłony ognioszczelnej zgodnie z wymaganiami zawartymi w dyrektywie 94/9/WE oraz normach zharmonizowanych wymaga przeprowadzenia próby/sprawdzenia zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu z wnętrza osłony ognioszczelnej do otaczającej ją atmosfery. Powszechnie stosowana metoda polega na wykonaniu badań w zamkniętej komorze wypełnionej mieszaniną wybuchową. W przypadku wystąpienia przeniesienia się wybuchu, odnalezienie źródła zapłonu gazowej atmosfery wybuchowej (wadliwe złącze ognioszczelne, gorąca powierzchnia itp.) pozwala na uniknięcie wielu dodatkowych badań, a tym samym zmniejszenie kosztów związanych z poprawą konstrukcji osłony. W niniejszym artykule opisano badania dotyczące poszukiwania metody określania prawdopodobnego miejsca przenoszenia się wybuchu z zastosowaniem techniki termowizyjnej.

Application of thermovision system for indication of probable ignition source of gaseous explosive atmosphere in case of flameproof enclosures of group I and II

Abstract

To check design and construction correctness of flameproof enclosure the relevant tests should be done in accordance of 94/9/EC directive and harmonized standards requirements. The basic is test for non-transmission of an internal ignition to surrounding atmosphere. The common method, to confirm the correct design of flameproof enclosures, base's on tests in close chamber with explosive mixture. In case of flame transmission, finding of the ignition source of gaseous explosive atmosphere (defective flameproof joint, hot surface etc.) allow to avoid many additionally tests. It can decrease costs connected with correction of enclosure design. This work contains considerations regarding method of indication of flame transmission place with application of thermovision techniques.

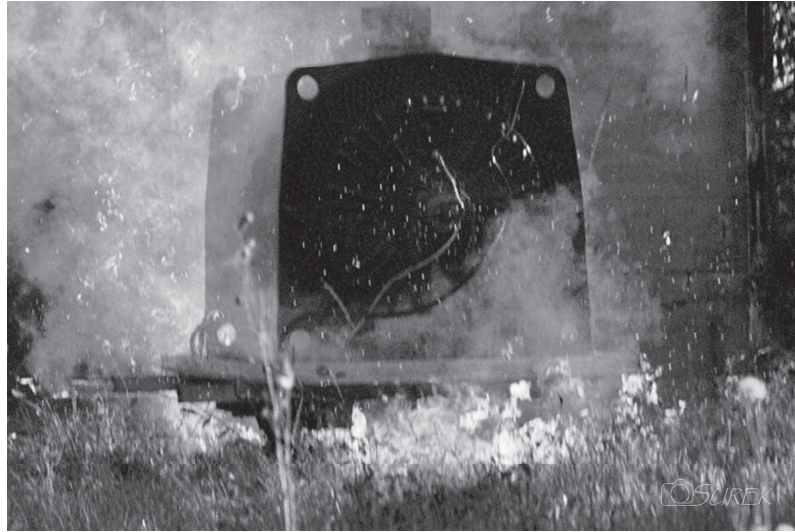
WSTĘP

Zgodnie z wymaganiami zawartymi w dyrektywie 94/9/WE oraz normach zharmonizowanych (PN-EN 60079-1:2004), poprawność konstrukcji i wykonania osłon ognioszczelnych urządzeń elektrycznych, należy sprawdzać doświadczalnie. Podstawowym badaniem jest sprawdzenie zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu z wnętrza osłony ognioszczelnej do otaczającej ją atmosfery (fot. 1).

Powszechnie stosowana metoda określania poprawności konstrukcji osłon ognioszczelnych urządzeń elektrycznych polega na wykonaniu badań w zamkniętej komorze wypełnionej mieszaniną wybuchową. Po zainicjowaniu wybuchu we wnętrzu

* Główny Instytut Górnictwa, Zakład Bezpieczeństwa Przeciwwybuchowego Kopalni Doświadczalnej „Barbara”.

osłony obserwuje się, czy wybuch przedostał się z osłony do otaczającej ją atmosfery. W przypadku negatywnego wyniku badania (przeniesienie wybuchu) odnalezienie źródła zapłonu gazowej atmosfery wybuchowej (wadliwe złącze ognioszczelne, gorąca powierzchnia itp.) pozwala na uniknięcie wielu dodatkowych badań, a tym samym zmniejszenie kosztów związanych z poprawą konstrukcji osłony.



Fot. 1. Przykład badania silnika elektrycznego w osłonie ognioszczelnej (nastąpiło przeniesienie się wybuchu)

Phot. 1. Example of flameproof electrical motor test (flame transmission occurred)

W związku z powyższym w Laboratorium Systemów i Zabezpieczeń Przeciwybuchowych oraz Eksplozometrii Zakładu Bezpieczeństwa Przeciwybuchowego Kopalni Doświadczalnej „Barbara” podjęto badania w celu opracowania metody określania prawdopodobnego miejsca przenoszenia się wybuchu z zastosowaniem techniki termowizyjnej.

1. PODSTAWY TEORETYCZNE

1.1. Zakres promieniowania gazów

Zjawisko promieniowania gazów jest odmienne od promieniowania ciał stałych i cieczy. Gazy dwuatomowe można traktować jako przezroczyste, gdyż nie pochłaniają ani też nie emitują promieniowania (Gdula 1974). Gazy o niesymetrycznej budowie cząstek, takie jak tlenek węgla, dwutlenek węgla, para wodna oraz węglowodory i alkohole, mogą pochłaniać i emitować znaczne ilości energii. Jednakże emisja i pochłanianie energii przez gazy dotyczy tylko pewnych długości fal i ma charakter selektywny. W badaniach osłon ognioszczelnych stosuje się gazy z grupy węglowodorów (metan, propan, etylen) oraz wodór. Można przyjąć, że głównymi produktami spalania tych gazów są dwutlenek węgla i woda.

Pasma promieniowania dwutlenku węgla są następujące (Hobler 1986):

$$\lambda = 2,36-3,02 \mu\text{m}, \quad \lambda = 4,01-4,80 \mu\text{m}, \quad \lambda = 12,5-16,5 \mu\text{m},$$

natomiast pasma promieniowania pary wodnej zawierają się w następujących granicach:

$$\lambda = 2,24-3,27 \mu\text{m}, \quad \lambda = 4,8-8,5 \mu\text{m}, \lambda = 12-25 \mu\text{m}.$$

Biorąc pod uwagę zakres widmowy kamery termowizyjnej typu ThermaCAM P65 (7,5–13 μm) należy stwierdzić, że podczas obserwacji wybuchu gazów z grupy węglowodorów, jest możliwe zarejestrowanie jedynie znikomej części promieniowania produktów reakcji spalania.

1.2. Emisyjność

W badaniach termowizyjnych należy brać po uwagę fakt, że zjawisko promieniowania zachodzi w całej objętości gazów. Należy zatem zwrócić uwagę także na wpływ kształtu masy gazu i jego ciśnienia. Powoduje to, że podstawowe równania opisujące zjawiska promieniowania gazów różnią się od odpowiadających im równań dotyczących ciał stałych i cieczy. W związku z tym zamiast prawa Stefana-Boltzmana należy stosować zależności uzyskane na podstawie doświadczeń (Hobler 1986). I tak odpowiednio dla CO_2 i H_2O :

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = 4,07(pL)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\theta}{100} \right)^{3,5} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 4,07 p^{0,8} L^{0,6} \left(\frac{\theta}{100} \right)^3 \quad (2)$$

gdzie:

ε – emisyjność, W/m^2 ;

p – ciśnienie cząstkowe promieniującego gazu w mieszaninie, Pa;

L – grubość warstwy gazu, m;

θ – temperatura.

Z zależności (1) i (2) wynika wyraźny wpływ ciśnienia i grubości warstwy na emisyjność promieniującego gazu. Spaliny wydobywające się ze szczelin ognioszczelnych ulegają gwałtownemu rozprężeniu. Kształt spalin i zmienny charakter zjawiska samego wybuchu nie pozwala na jednoznaczne określenie grubości warstwy obserwowanych gazów. Poza tym promieniowanie rozchodzi się we wszystkich kierunkach, których obliczenie jest skomplikowane.

Analizując promieniowanie produktów spalania, na przykład metanu, należy wziąć pod uwagę fakt, że pasma promieniowania dwutlenku węgla i pary wodnej częściowo zachodzą na siebie. Należy zatem wyznaczyć emisyjność zastępczą obserwowanego gazu ε_g , którą można opisać zależnością

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \beta \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta \varepsilon_g \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta\varepsilon_g$ – poprawka na promieniowanie mieszaniny CO_2 i H_2O ,

β – współczynnik poprawkowy uwzględniający wpływ ciśnienia cząstkowego pary wodnej.

1.3. Założenia pomiarowe

Biorąc pod uwagę opisane powyżej zjawiska i problemy związane z:

- możliwością zarejestrowania jedynie znikomej części promieniowania produktów reakcji spalania,
- ścisłą zależnością emisyjności gazu (produktów spalania) od ciśnienia i grubości jego warstwy,

przyjęto, że badania będą polegały na rejestracji wartości wielkości odpowiadającej temperaturze gazu o emisyjności zastępczej $\varepsilon_g = 0,04$. Wielkość tę określono mianem sygnału termowizyjnego.

2. BADANIA Z ZASTOSOWANIEM OSŁONY OGNIOSZCZELNEJ MODELOWEJ

Badania wykonano nową metodą, której podstawę stanowiła kamera termowizyjna na typu ThermaCAM P65 produkcji FLIR, sprzężona z komputerem za pomocą szybkiego złącza typu IEEE-1394 Fire Wire (fot. 2). Zapis obrazów w postaci JPEG z pełnymi danymi radiometrycznymi oraz zastosowanie właściwego oprogramowania zapewnia możliwość analizy uzyskanych danych.



Fot. 2. System termowizyjny z wykorzystaniem kamery typu ThermaCAM P65

Phot. 2. Thermovision system with ThermaCAM P65 camera

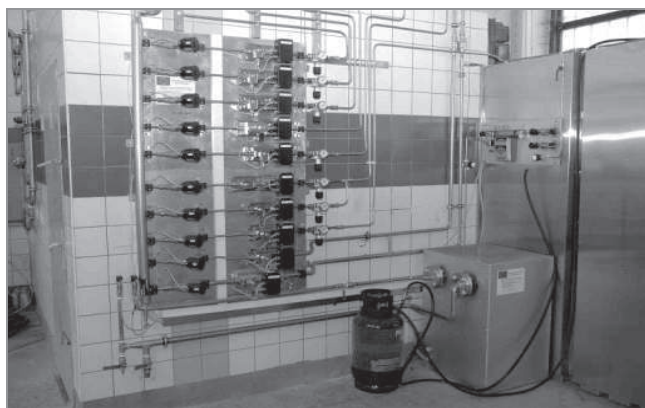
Podstawowe dane techniczne kamery były następujące:

- czułość termiczna $0,08^\circ\text{C}$ (przy 30°C),
- pole widzenia (ogniskowa $24 \times 13^\circ$) $0,3 \text{ m}$,
- częstotliwość obrazu 50 Hz (bez przeplotu),

- rodzaj detektora: matryca niechłodzonych detektorów mikrobolometrycznych (FPA) 320×240 pix,
- zakres widmowy $7,5\text{--}13 \mu\text{m}$,
- zakres pomiarowy $-40 - +500^\circ\text{C}$ w dwóch podzakresach.

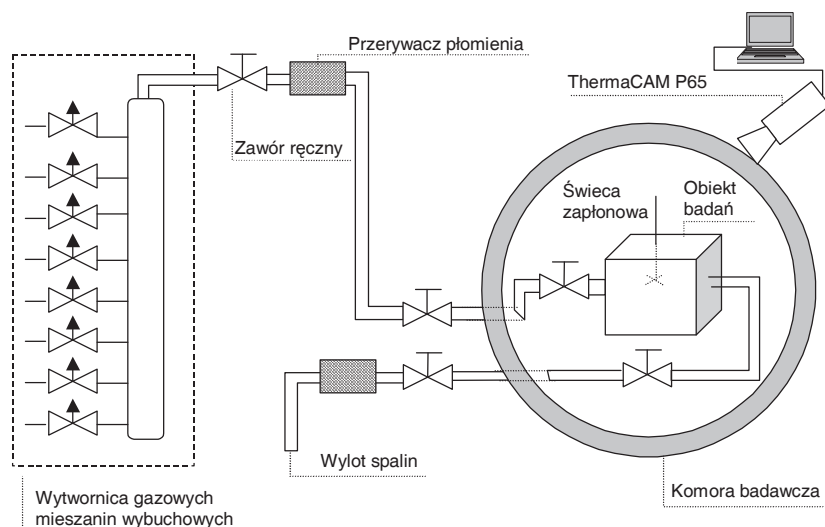
W celu zapewnienia właściwego bezpieczeństwa podczas badań:

- wytwornicę wybuchowych mieszanin gazowych (fot. 3) oddzielono od skrzynki testowej za pomocą przerywacza płomienia oraz kulowych zaworów zamykanych ręcznie (rys. 1),
- przedmiot badań (skrzynkę testową i osłonę ognioszczelną urządzenia) umieszczono w specjalnej komorze badawczej (fot. 4).



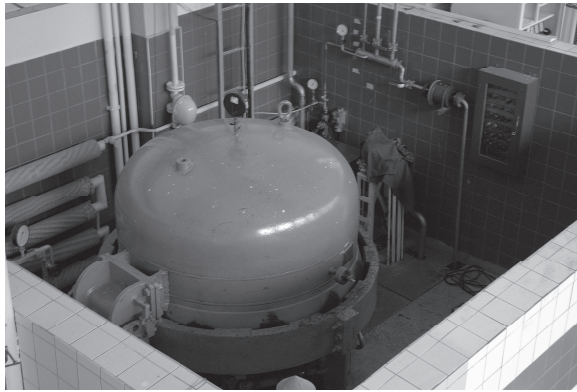
Fot. 3. System wytwarzania wybuchowych mieszanin gazowych

Phot. 3. Explosive mixture generator



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 1. Test stand scheme



Fot. 4. Komora do badań zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu

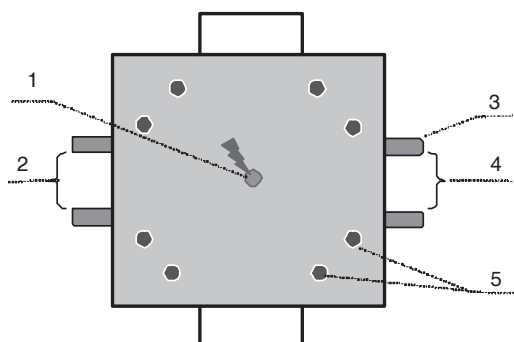
Phot. 4. Flame transmission test chamber

Badania wykonywano w modelowej skrzynce budowy ognioszczelnej o wymiarach wewnętrznych $220 \times 220 \times 170$ mm (wolna przestrzeń osłonięta ok. 8 dm^3) (fot. 5, rys. 2), z zastosowaniem mieszanin gazowych (zgodnych z normą PN-EN 60079-1 w przypadku badania zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu). Wybór skrzynki o prostym kształcie umożliwił powtarzalną symulację pracy szczelin ognioszczelnych w wybranym zakresie. Przed rozpoczęciem badań wszystkie złącza ognioszczelne, z wyjątkiem złącza kołnierzowego pod pokrywą skrzynki, zostały uszczelnione. Badane złącze miało długość 25 mm. Jego prześwit regulowano za pomocą szczelinomierzy, zapewniając tym samym możliwość uzyskania żądanych prześwitów na wybranych odcinkach złącza. Taki układ pozwalał na uznanie badanego złącza za dwa niezależne od siebie złącza ognioszczelne o tej samej długości, lecz innym prześwicie szczeliny.



Fot. 5. Skrzynka modelowa w komorze badań
Phot. 5. Modeling enclosure in the test chamber

W badaniach dla każdej z grup wybuchowości symulowano układ szczelin ognioszczelnych odpowiadający sytuacji, w której jedna z nich jest szczeliną „przenoszącą” wybuch, a druga jest wykonana zgodnie z wymaganiami normy (nie przenosi wybuchu) – rysunek 2. Prześwity szczelin doświadczalnych wraz z odpowiadającymi im grupami gazów podano w tabelicy 1.



Rys. 2. Skrzynka modelowa z układem ognioszczelnych szczelin badawczych: 1 – źródło zapłonu, 2 – złącze ognioszczelne nr 1 o prześwicie $l_1 > \text{MESG}$, 3 – szczelinomierz, 4 – złącze ognioszczelne nr 2 o prześwicie $l_2 < \text{MESG}$, 5 – śruby mocujące pokrywę

Fig. 2. Modeling enclosure – flameproof joints configuration: 1 – ignition source, 2 – flameproof joint with gap $l_1 > \text{MESG}$, 3 – gap gauge, 4 – flameproof joint with gap $l_2 < \text{MESG}$, 5 – damping screws

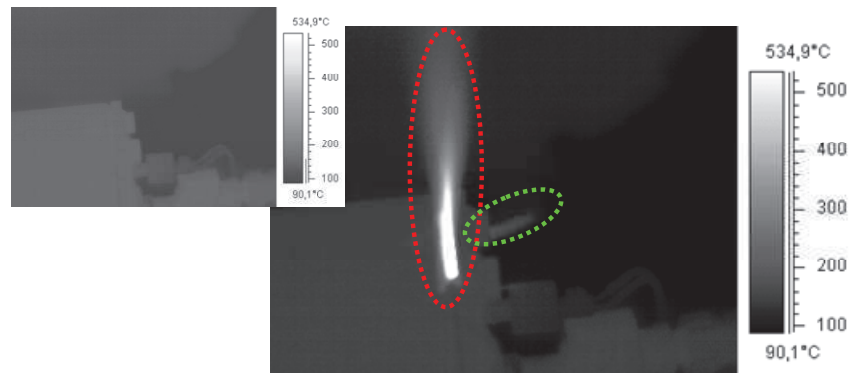
Tablica 1. Prześwity szczelin ognioszczelnych przyjętych w badaniach z zastosowaniem skrzynki modelowej

Grupa wybuchowości	Doświadczalny prześwit szczeliny ognioszczelnej nr 1, mm	Doświadczalny prześwit szczeliny ognioszczelnej nr 2, mm
I	0,9	0,5
IIA	0,75	0,4
IIB	0,45	0,2

Przyjęto następującą kolejność wykonywania badań. Dla każdej z grup wybuchowości przeprowadzono po trzy próby wybuchowe w celu uzyskania powtarzalności wyników. Każdą serię prób poprzedzono badaniem zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu tak, aby uzyskać pewność, że badany przypadek zapewnia wystąpienie tego zjawiska.

2.1. Metoda obserwacji bezpośredniej gazów

Najpierw obserwowano część złącza przenoszącą wybuch. Miejsce wydmuchu gazów w czasie wybuchu (linia czerwona) jest wyraźnie widoczne na fotografii 6. Widoczne jest również, że część gazów wydostała się „po śrubie” mocującej pokrywę (linia zielona).

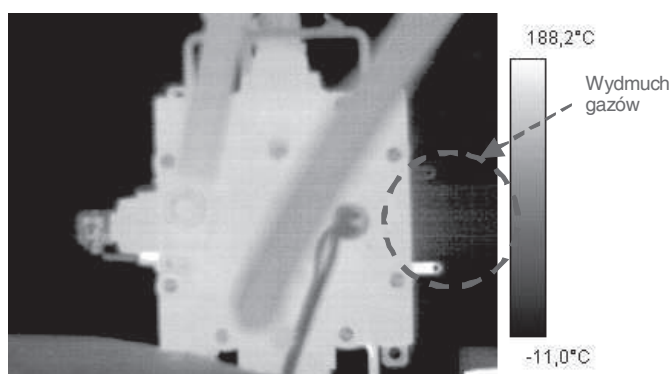


Fot. 6. Obserwacja złącza przenoszącego wybuch (grupa I)

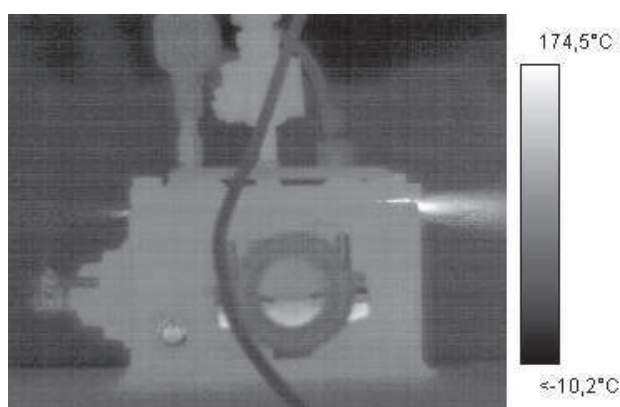
Phot. 6. Observation of flame transmission joint (group I)

Podczas badań prowadzono obserwacje całej skrzynki modelowej, aby móc zaobserwować wszystkie szczeliny ognioszczelne osłony.

Na fotografii 7 czerwoną przerywaną linią zaznaczono wydmuch gazów ze złącza przenoszącego wybuch. Nie zarejestrowano natomiast wydmuchu z przeciwnej strony złącza. Brak rejestracji może być efektem występowania zbyt małej różnicy sygnałów pochodzących od wydmuchiwanego gazu i tła pochodzącego od wpustu kablowego. Zatem, zarejestrowany obraz nie dał pełnego poglądu na obserwowane zjawisko. Dopiero obserwacje z innej strony (fot. 8) wykazały, że nastąpił wydmuch z obu części złącza i, że wydmuch z części prawej może być prawdopodobnym źródłem zapłonu.



Fot. 7. Skrzynka badawcza w czasie wybuchu (grupa I)
 Phot. 7. Modeling enclosure during internal explosion (group I)



Fot. 8. Skrzynka badawcza w trakcie wybuchu – widok 2 (grupa I)
 Phot. 8. Modeling enclosure during internal explosion – second view (group I)

Podobna sytuacja wystąpiła w przypadku badań dla podgrupy IIA oraz IIB. Dla podgrupy IIC (badania w wodorze) nie uzyskano wyniku powtarzalnego, tzn. szybkość zjawiska spowodowała, że w niektórych przypadkach kamera nie zarejestrowała wybuchu.

Sygnal rejestrowany metodą bezpośredniej obserwacji gazu nie pozwala na dokładną obserwację wszystkich złącz badanego obiektu. Zatem, nie jest możliwe jednoznaczne wysunięcie wniosków i określenie prawdopodobnego miejsca przeniesienia się wybuchu, nawet w przypadku badań modelowych.

2.2. Metoda obserwacji pośredniej gazów

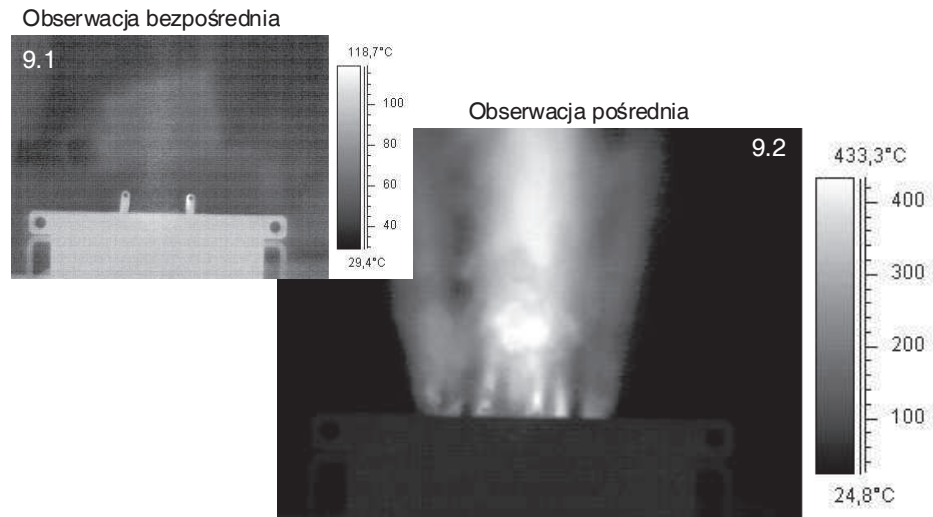
Z opisanych badań wynika, że dotyczą one zjawiska, którego uchwycenie za pomocą termowizji jest trudne. Obraz złącz ognioszczelnych, obserwowanych w czasie wybuchu pod różnymi kątami, może dać nie tylko nikłe, ale również i mylące wyniki.

Obserwowane „gołym okiem” świecenie płomienia, chociażby świecy czy też wybuchu, jest efektem spalania cząstek pochodzących z rozkładu ciał stałych. Opisu-
jąc obrazowo to zjawisko (Hobler 1986) można stwierdzić, że jest to chmura pyłków
ciała stałego w gorącym gazie. Zachowanie się takiej chmury jest bardzo skompliko-
wane, ale za to bardziej zbliżone do zachowania się ciała szarego niż samego gazu
(Hobler 1986). Można zatem domniemywać, że wprowadzenie zanieczyszczeń,
w postaci pyłu, do obserwowanych wydmuchów ze złącz ognioszczelnych pozwoli na
dokładniejszą ich obserwację.

Postanowiono użyć pyłu stosowanego w badaniach stopnia ochrony IP. O jego
wyborze zdecydowały dwa czynniki:

- brak właściwości palnych,
- określona jednolita granulacja (zgodna z PN-EN 60529), zapewniająca powtarzal-
ność warunków badań.

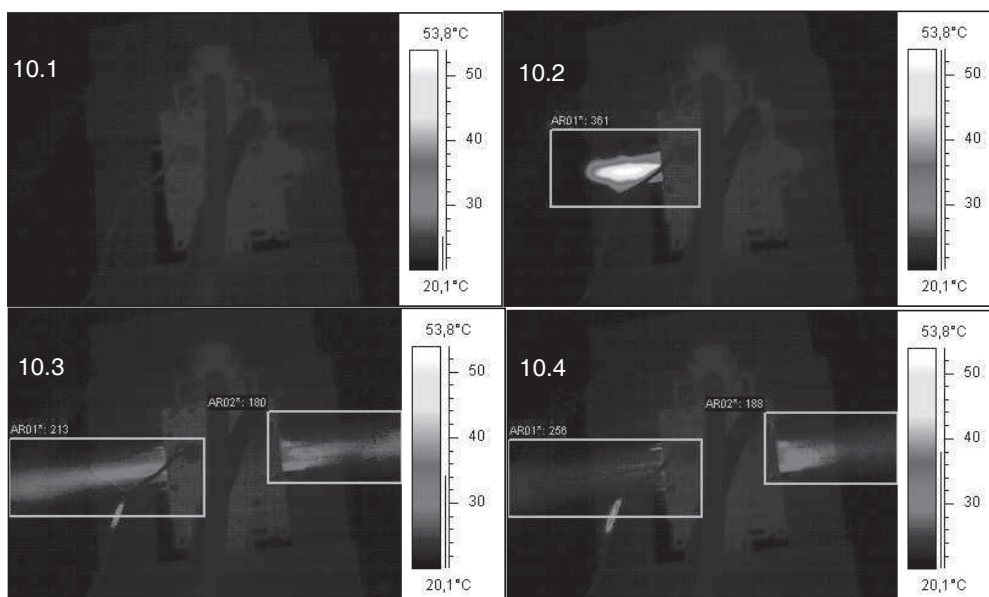
Jedno ze złącz ognioszczelnych pokryto pyłem „od zewnątrz”. W wyniku reje-
stracji wybuchu otrzymano termogram pokazany na fotografii 9. Przedstawiono
również porównanie obrazu uzyskanego obiema metodami: obserwacji bezpośredniej
i pośredniej. Wprowadzenie cząstek pyłu pozwoliło na uzyskanie wyraźnego obrazu
(duży sygnał), a co za tym idzie, może stanowić podstawę do dalszych obserwacji
i rozważań.



Fot. 9. Skrzynka badawcza w czasie wybuchu (grupa I); porównanie rezultatów uzyskanych metodą obserwacji
bezpośredniej i pośredniej

Phot. 9. Modeling enclosure during internal explosion (group I); comparison of results obtained during direct and
indirect observation method

Na fotografii 10 przedstawiono sekwencję obrazów termowizyjnych skrzynki
testowej w układzie złącz pokrytych pyłem badawczym, odpowiadającym grupie I
wybuchowości gazów, zgodnie z tablicą 1.



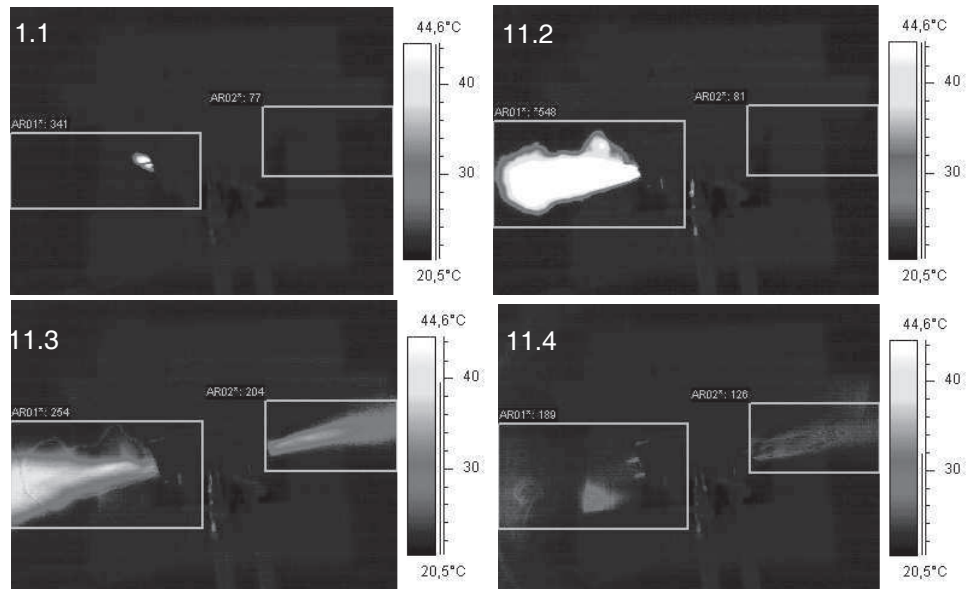
Fot. 10. Skrzynka badawcza w trakcie wybuchu (grupa I) – sekwencja obrazów

Phot. 10. Modeling enclosure during internal explosion (group I) – shot series

Na podstawie pomiarów ustalono współczynnik emisyjności całego obiektu, który wynosił 0,94, natomiast w polach pomiarowych (AR01 i AR02) współczynnik emisyjności odpowiadał ustalonej wcześniej wartości współczynnika sygnału termowizyjnego $\epsilon_g = 0,04$. Zarejestrowany wydmuch z drugiej szczeliny (pole AR02) pojawił się kilka milisekund po wydmuchu ze szczeliny pierwszej, a odpowiadający mu sygnał termowizyjny był o 50% mniejszy niż dla szczeliny pierwszej. Zatem było możliwe określenie prawdopodobnego miejsca wydostania się wybuchu na zewnątrz badanej osłony ognioszczelnej. Jest to szczelina pierwsza o prześwicie $I_1 >$ od MESH zastosowanej mieszaniny probierczej. Kolejne dwie próby potwierdziły uzyskany wynik.

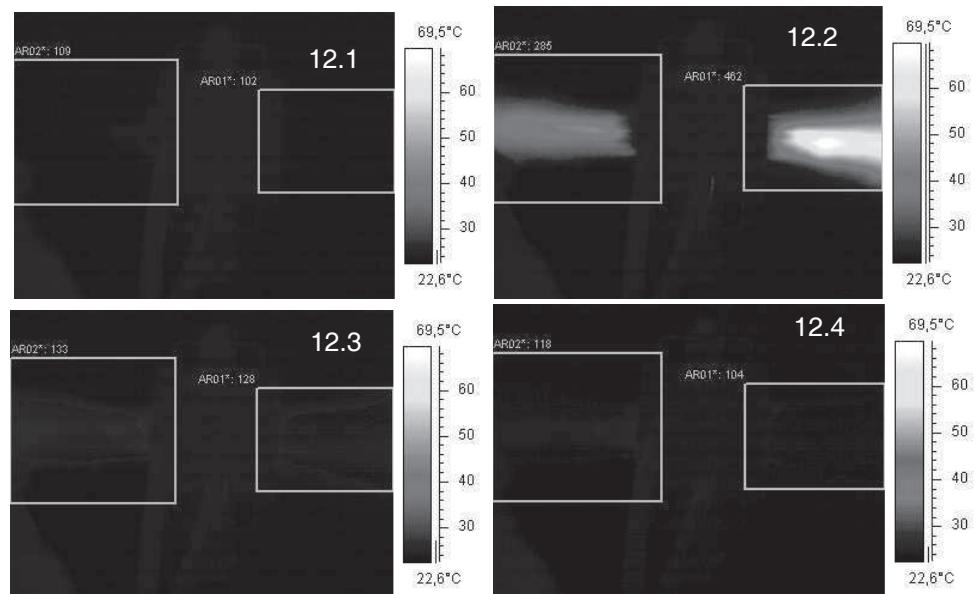
Może zdarzyć się, że badana osłona ognioszczelna ma złącza ognioszczelne o zbliżonych parametrach, a różnica między prześwitami ich szczelin jest niewielka. Taką sytuację zasymulowano, ustawiając prześwit złącza nr 1 na wartość 0,9 mm, a złącza nr 2 na wartość 0,75 mm. Należy zaznaczyć, że prześwit o wartości 0,75 mm nie jest niedopuszczony przez obowiązujące normy, ale taki układ szczelin doskonale obrazuje omawianą sytuację. Wynik badania przedstawiono na fotografii 11. Wynika z niej, że również w tym przypadku najpierw pojawił się wydmuch ze szczeliny pierwszej ($I_1 = 0,9 \text{ mm} > \text{MESH}$), a jego sygnał termowizyjny był znacznie większy niż dla przeciwnego przypadku ($I_2 = 0,75 \text{ mm} < \text{MESH}$).

Podobne rezultaty (fot. 12 i 13) uzyskano dla grup wybuchowości IIA i IIB, przy zastosowaniu parametrów złącz według tablicy 1. Należy zwrócić uwagę na fakt odwrócenia sytuacji na zdjęciu, tzn. złącze przenoszące wybuch znajdowało się teraz po prawej stronie (pole AR01), natomiast złącze nieprzenoszące – po lewej stronie (pole AR02).



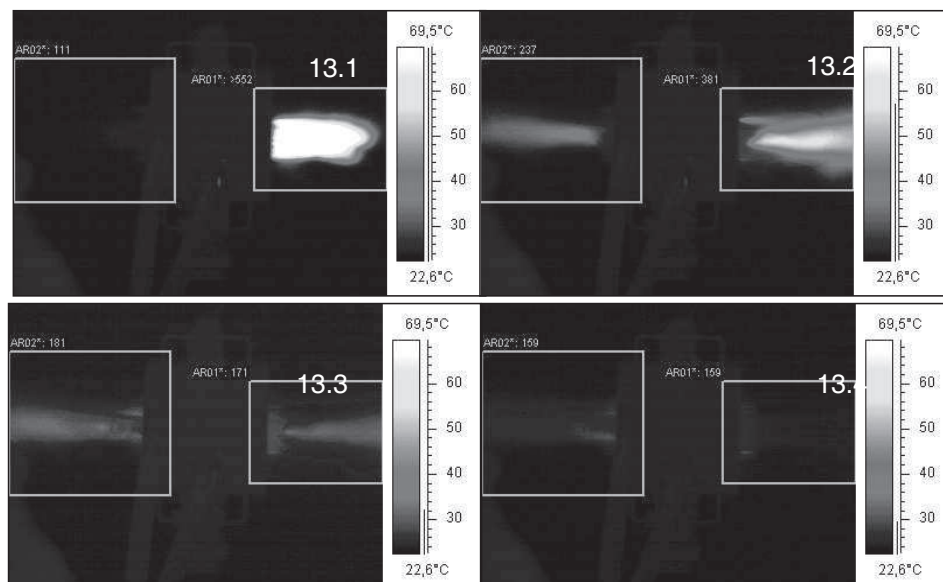
Fot. 11. Skrzynka badawcza podczas wybuchu (grupa I) – sekwencja obrazów (prześwit badanych złączy $l_1 = 0,9$ mm, $l_2 = 0,75$ mm)

Phot. 11. Modeling enclosure during internal explosion (group I) – pictures sequence (testing joints gaps $l_1 = 0,9$ mm, $l_2 = 0,75$ mm)



Fot. 12. Skrzynka badawcza w czasie wybuchu (grupa IIA) – sekwencja obrazów (prześwit badanych złączy $l_1 = 0,75$ mm, $l_2 = 0,4$ mm)

Phot. 12. Modeling enclosure during internal explosion (group IIA) – pictures sequence (testing joints gaps $l_1 = 0,75$ mm, $l_2 = 0,4$ mm)

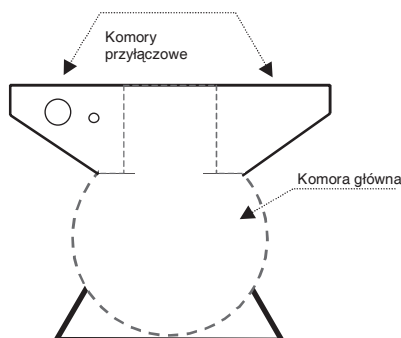
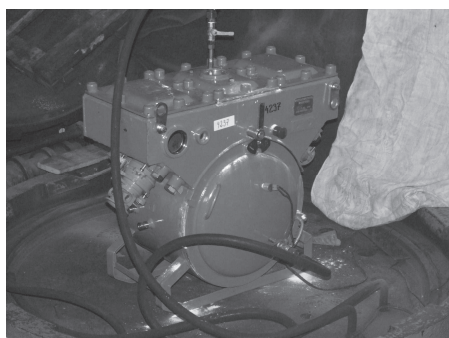


Fot. 13. Skrzynka badawcza w czasie wybuchu (grupa IIB) – sekwencja obrazów (prześwit badanych złączy $l_1 = 0,45$ mm, $l_2 = 0,2$ mm)

Phot. 13. Modeling enclosure during internal explosion (group IIB) – pictures sequence (testing joints gaps $l_1 = 0,45$ mm, $l_2 = 0,2$ mm)

3. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY OBSERWACJI POŚREDNIEJ

Omówioną metodę obserwacji pośredniej zastosowano do badań osłony ognioszczelnej wyłącznika stycznikowego (fot. 14).

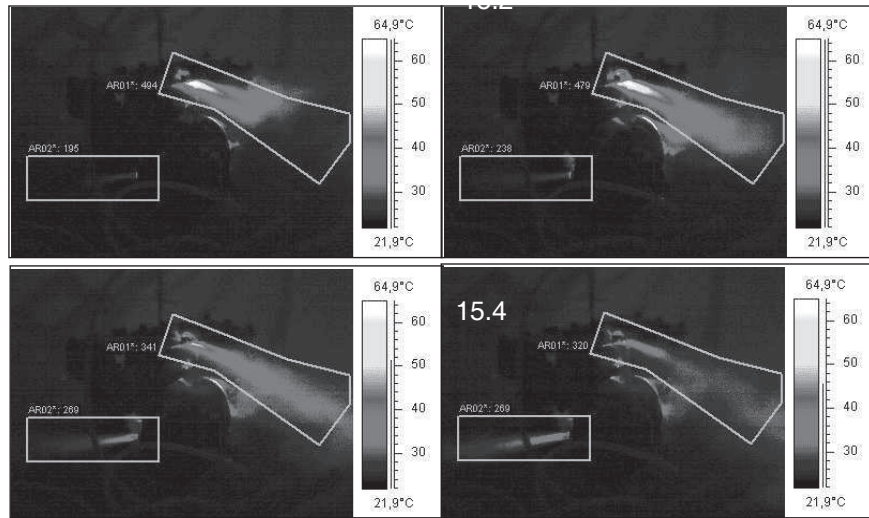


Fot. 14. Osłona ognioszczelna wyłącznika stycznikowego oraz schemat układu komór ognioszczelnych

Phot. 14. Flameproof enclosure of contactor starter and configuration of flameproof chambers

Podczas badań zabezpieczenia przed przeniesieniem się wybuchu w przypadku komory głównej wyłącznika nastąpiło przeniesienie się wybuchu. Zarys komory głównej zaznaczono czerwoną przerywaną linią (fot. 14).

Złącza badanej komory osłony ognioszczelnej, zgodnie z przyjętą procedurą, pokryto pyłem i pięciokrotnie przewietrzono osłonę mieszaniną $(12,5 \pm 0,5)\%$ metanowódór – $[(58 \pm 1)\% \text{CH}_4 + (42 \pm 1)\% \text{H}_2]$ + powietrze. Po zabezpieczeniu stanowiska badawczego zainicjowano i następnie zarejestrowano wybuch za pomocą systemu termowizyjnego (fot. 15).



Fot. 15. Osłona ognioszczelna wyłącznika stycznikowego – obserwacja szczelin ognioszczelnych

Phot. 15. Flameproof enclosure of contactor starter – flameproof joints observation

Stwierdzono, że wybuch wydostał się spod górnej pokrywy komory głównej (pole AR01). Wydmuch (pole AR02) był efektem pracy pokrywy, a zarejestrowany dla niego sygnał termowizyjny był o połowę mniejszy niż w przypadku wydmuchu z pola AR01. Można zatem przypuszczać, że prawdopodobne miejsce przenoszenia się wybuchu znajduje się pod górną pokrywą komory głównej badanej osłony.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych wyników badań sformułowano następujące wnioski:

- Choć obserwowane zjawiska mogą mieć nieco odmienny charakter pod względem intensywności, czasu trwania czy też uzyskiwanych wartości sygnału termowizyjnego, to jednak opracowana metoda wykrywania prawdopodobnego miejsca przenoszenia się wybuchu, może okazać się skuteczna w wielu wypadkach.
- Opracowana metodyka badawcza (metoda obserwacji pośredniej) pozwala na obserwację zachowania złącz ognioszczelnych badanych osłon podczas wybuchu w ich wnętrzu.
- Metoda obserwacji pośredniej pozwala na wykrywanie prawdopodobnego miejsca przenoszenia się wybuchu w przypadku wadliwie wykonanej osłony ognioszczelnej grup I, IIA oraz IIB.

- Stanowisko badawcze zapewnia możliwość obserwacji osłon ognioszczelnych o szerokim zakresie wymiarów zewnętrznych.
- Stanowisko badawcze oraz stosowana metodyka zapewniają odpowiedni poziom bezpieczeństwa podczas prowadzenia badań.

Literatura

1. Dyrektywa 94/9/WE – Urządzenia, systemy ochronne, części i podzespoły przeznaczone do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.
2. Gdula S.J. (1974): Podstawy techniki cieplnej. Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej nr 694.
3. Hobler T. (1986): Ruch ciepła i wymienniki, wyd. 6. Warszawa, WNT.
4. PN-EN 60079-1:2004 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – osłony ognioszczelne „d”;
5. PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP).

Recenzent: prof. dr hab. inż. Paweł Krzysztołik