

## Termowizyjny monitoring instalacji elektrycznych i rurociągowych w podziemiach kopalń

mgr inż. Bartosz Polnik  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

### Streszczenie:

Stosowanie techniki termowizyjnej, dzięki bezinwazyjności pomiarowej, jest coraz częstsze w podziemiach kopalń. Tradycyjne rewizje okresowe nie zawsze dają możliwość wykrycia nawet niewielkich uszkodzeń rurociągów, czy też przegrzewania się złącz przewodów elektrycznych. To, co jest niewidoczne gołym okiem, doskonale widać przy użyciu kamery termowizyjnej. W artykule omówiono badania monitorujące stan techniczny instalacji elektrycznych i rurociągowych z zastosowaniem techniki termowizyjnej przeprowadzone w kopalni. Przedstawiono doświadczenia wynikające z zastosowanej metody. Wskazano na możliwości dalszego rozszerzenia zakresu stosowania techniki termowizyjnej.

Słowa kluczowe: górnictwo, wyrobiska pionowe i poziome, instalacje elektryczne i rurociągowy, monitoring termowizyjny

Keywords: mining industry, horizontal and vertical workings, electric installations and pipelines, infrared monitoring

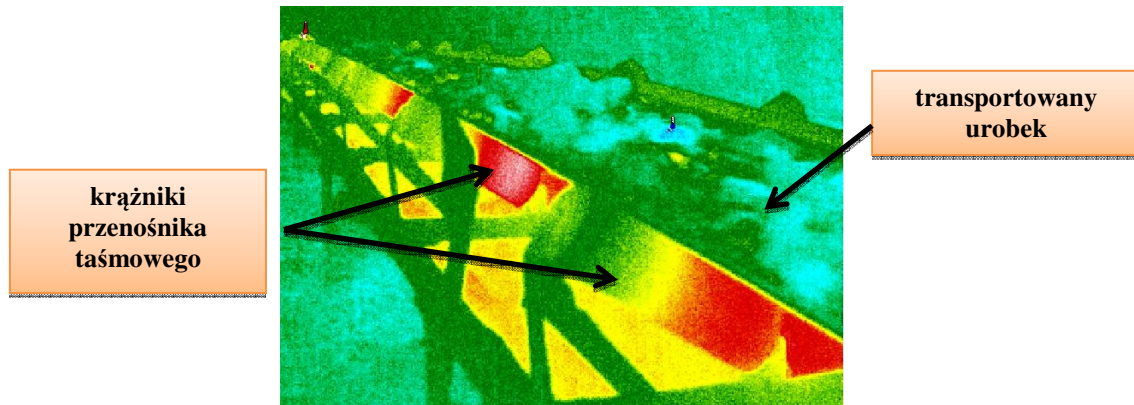
### Abstract:

Infrared technology due to non-invasive measurements is more frequently used in mine undergrounds. Traditional periodical inspections not always can detect small damages to pipelines or overheating of electric wires. What cannot be seen with a naked eye can be visible with use of infrared camera. Tests of the system for monitoring the technical condition electric installations and pipelines with use infrared technology carried out in mine underground are discussed. Conclusions and results from using this technology are presented. Possibility of extension of scope of using this technology is indicated.

## 1. Wprowadzenie

Instalacje elektryczne prowadzone w wyrobiskach pionowych i poziomych kopalń składają się z długich odcinków, wraz z osprzętem pomocniczym (łączniki, dławnice, rozdzielacze itd.). Uszkodzenie izolacji bądź pogorszenie styku podzespołu łączącego skutkuje jego podwyższoną temperaturą, co świadczy o przeciążeniu, a w ostateczności o zwarciu w instalacji elektrycznej. Wystąpienie zwarć i przeciążeń powoduje uruchomienie zabezpieczeń, a w konsekwencji odłączenie napięcia zasilanych odbiorników. W wyrobiskach pionowych (szyby) prowadzone są rewizje (ogłędziny) wnętrza szybu. Jednym z elementów wchodzącym w skład rewizji są również ogłędziny instalacji elektrycznej. Podobna sytuacja dotyczy wyrobisk poziomych (korytarzowych), gdzie z różną częstością dokonuje się ich ogłędzin. Zastosowanie techniki termowizyjnej do wykrywania źródeł awarii, jest prowadzone także na powierzchni. Z uwagi na atmosferę potencjalnie zagrożoną wybuchem dotychczas nie stosowano powszechnie techniki termowizyjnej w podziemiach kopalń.

W górnictwie polskim, jak i światowym odnotowano zastosowanie techniki termowizyjnej [1]. Metoda techniki termowizji została zastosowana między innymi do badania stanu termicznego krążników przenośnika taśmowego (rys. 1). Należy jednak zaznaczyć, że wszystkie próby z zastosowaniem termowizji w atmosferze wybuchowej prowadzone były na warunkach czasowego dopuszczenia. Wymagało to ciągłego pomiaru stężenia metanu w otoczeniu kamery termowizyjnej.

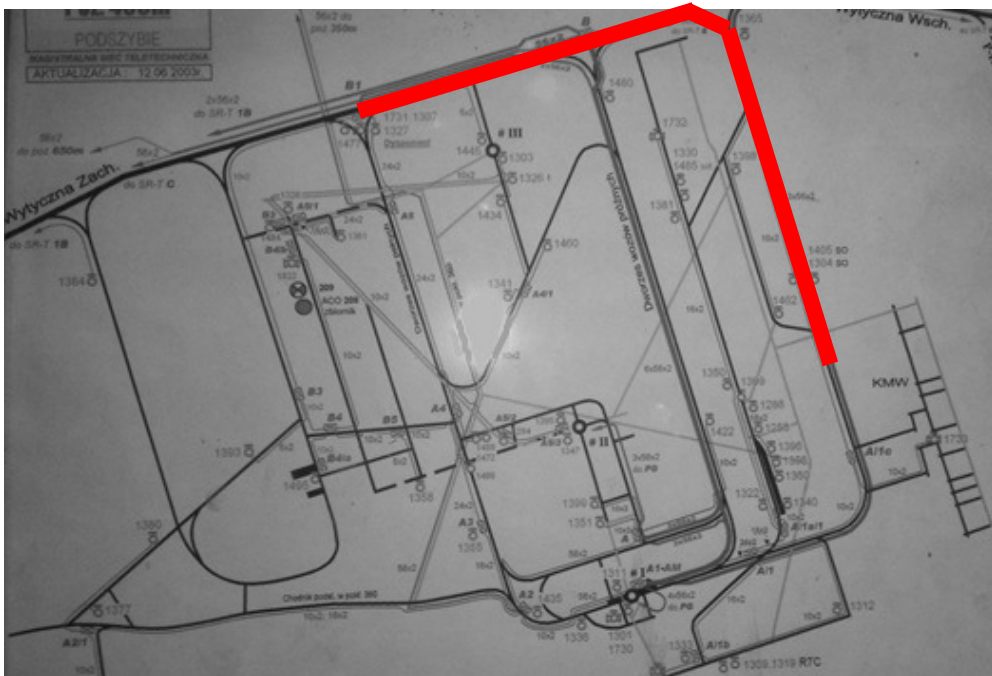


Rys.1. Termogram przenośnika taśmowego [1]

Termowizję stosowano również do wykrywania ognisk samozagrzewania się węgla (pożarów endogenicznych) w caliznie węglowej i na hałdach kopalnianych [3]. Przeważnie pomiary prowadzono w strefach nie zagrożonych wybuchem metanu lub/i pyłu węglowego.

## 2. Miejsce i obiekt prób

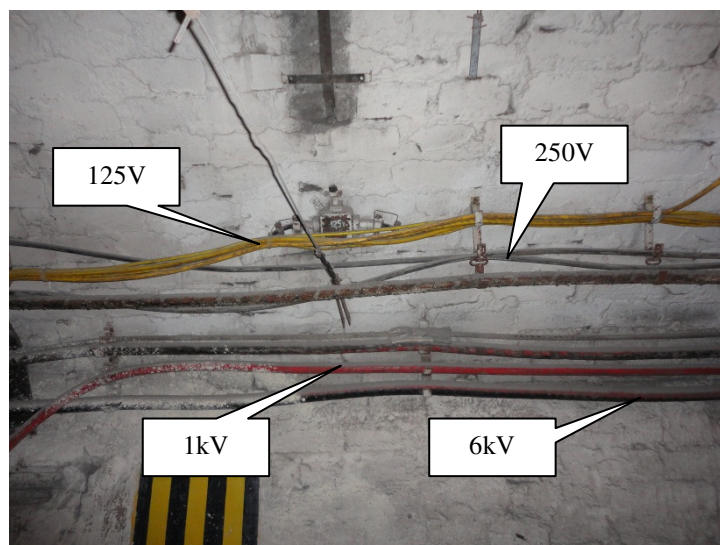
Jako miejsce prowadzenia prób zostały wybrane wyrobiska poziome w jednej z kopalń węgla kamiennego. Monitorowano stan instalacji elektrycznych i rurociągowych. Na rysunku 2 pokazano widok poprowadzonych instalacji elektrycznych i rurociągowych.



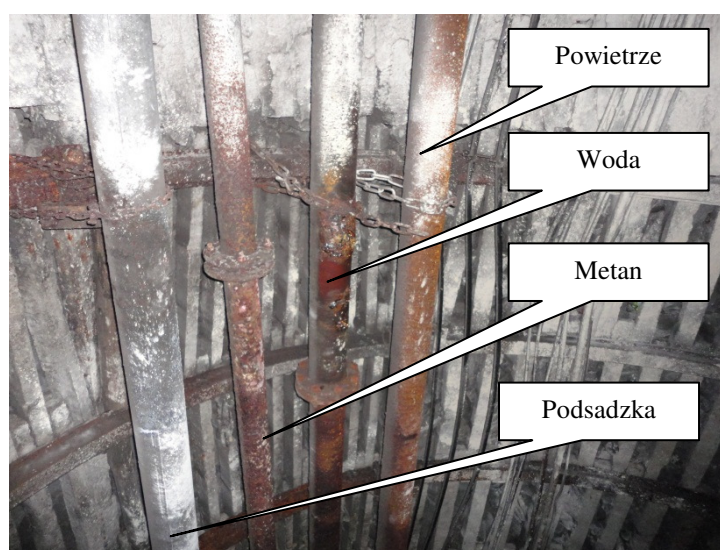
Rys. 2. Widok poprowadzonych instalacji elektrycznych i rurociągowych [7]

Kolorem czerwonym zaznaczono odcinek wyrobiska poziomego, wzdłuż którego prowadzono monitoring instalacji elektrycznej i rurociągowej.

Na rysunku 3 pokazano przykład prowadzenia instalacji elektrycznej, natomiast na rysunku 4 przykład prowadzenia instalacji rurociąkowej.



Rys. 3. Instalacja elektryczna prowadzona w wyrobisku korytarzowym [7]



Rys. 4. Instalacja rurociąkowa prowadzona w wyrobisku korytarzowym [7]

Instalacje elektryczne prowadzone w podziemiach kopalni, to głównie kable siłowe – zasilające o napięciu znamionowym 6 kV oraz 1 kV. Poza powyższymi prowadzone są również kable sygnalizacyjne o napięciu 125 V oraz przewody do zasilania trakcji elektrycznej o napięciu równym 250 V DC.

Sieć rurociąkowa prowadzona w monitorowanym wyrobisku poziomym to:

- instalacja przeciwpożarowa,
- instalacja powietrzna,
- instalacja odmetanowania,
- instalacja wypełnienia podsadzki.

### 3. Aparatura termowizyjna

Do prowadzenia obserwacji, zastosowano opracowany w ITG KOMAG, system monitoringu termowizyjnego. W jego skład wchodziły:

- kamera termowizyjna w obudowie przeciwwybuchowej,
- komputer w obudowie przeciwwybuchowej,
- instalacja zasilająca.

Kamera termowizyjna (rys. 5) spełnia wymagania bezpieczeństwa zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów, Dziennik Ustaw nr 99 poz. 1003 z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych, i została sklasyfikowana jako urządzenie grupy I kategorii M2 [5].




Rys.5. Kamera termowizyjna w obudowie przeciwwybuchowej [5]

Parametry techniczne kamery termowizyjnej przedstawiono w tabeli 1.

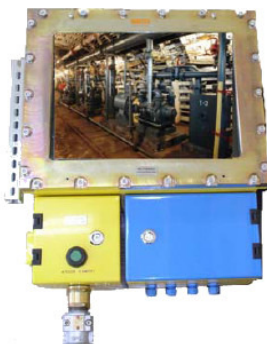
#### Parametry techniczne kamery termowizyjnej [5]

Tabela 1

Napięcie zasilania	[V]	230 V AC (42 AC)
Częstotliwość napięcia zasilania	[Hz]	50/60 Hz AC
Maksymalny prąd znamionowy	[mA]	250, (50)
Zabezpieczenie zasilania	wkładka topikowa, 250 V 0,063A	
Pole widzenia kamery	wg typu obiektywu, 95,6°	
Wymiary gabarytowe	[mm]	164x164x440
Temperatura otoczenia	-20°C÷40°C	
Cecha budowy przeciwwybuchowej		I M2(M1) EEx d [ia] I
Stopień ochrony	IP 65	

Kamerę wyposażono w szerokokątny detektor fal podczerwonych, umożliwiającą uchwycenie obiektów o dużych wymiarach, z odległości ok. 3 m. We wnętrzu obudowy zainstalowano dodatkowo kamerę wizyjną, która służy do identyfikacji zarejestrowanego termogramu w paśmie widzialnym. Informacja z kamery termowizyjnej przesyłana jest do komputera (rys. 6), który również spełnia wymagania bezpieczeństwa, zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów, Dziennik Ustaw nr 99 poz. 1003 z dnia 30 kwietnia

2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych i została sklasyfikowana jako urządzenie grupy I kategorii M2.



Rys. 6. Komputer w obudowie przeciwybuchowej [4]

Parametry techniczne komputera zestawiono w tabeli 2.

#### Parametry techniczne komputera w wykonaniu przeciwybuchowym [4]

Tabela 2

Napięcie zasilania	[V]	42 V (230 V) AC (-20% ; +10%)
Pobór mocy	[VA]	max 84
Temperatura otoczenia	[°C]	-20°C÷40°C
Stopień ochrony		IP 65
Procesor		Pentium IV
Cecha budowy przeciwybuchowej		 I M2(M1) EEx d [ia/ib] I

## 4. Przebieg badań

System monitoringu termowizyjnego zainstalowano we wnętrzu wozu do przewozu osób, który ciągnięto lokomotywą akumulatorową wzdłuż monitorowanej trasy instalacji. Z uwagi na zmienną emisyjność termiczną (zdolność do przekazywania temperatury na zewnątrz) monitorowanych obiektów, przyjęto uśrednioną wartość dla rurociągów na poziomie  $\varepsilon = 0,8$  i dla przewodów elektrycznych  $\varepsilon = 0,9$ . Badania podzielono na dwa etapy:

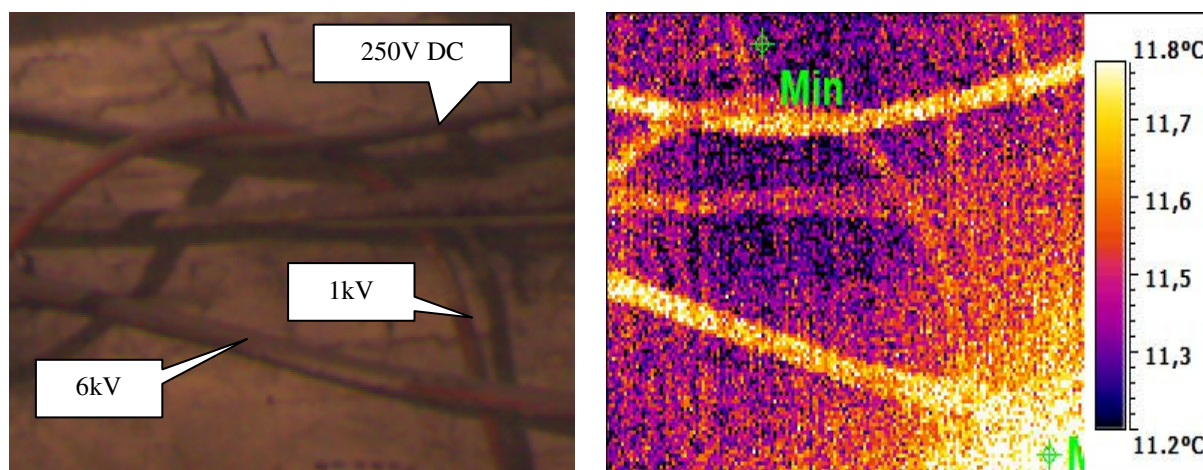
### Etap 1:

Lokomotywa przejeżdżała wzdłuż monitorowanej trasy z prędkością 1 m/s. W tym czasie kamera termowizyjna monitorowała sieć instalacji elektrycznej (rejestrowała obraz termowizyjny, który był zapisywany na komputerze). Operator kamery termowizyjnej otrzymywał informacje od operatora komputera, który obserwował badany obiekt na jego ekranie. W ramach etapu 1 przeprowadzono 6 przejazdów wzdłuż monitorowanej instalacji. Po zakończonej rejestracji przeprowadzono analizę zarejestrowanego materiału celem lokalizacji potencjalnych uszkodzeń. Po zlokalizowaniu miejsc mogących świadczyć o nieprawidłowościach, przeprowadzono oględziny wskazanych odcinków instalacji. Wyniki oględzin opisano i udokumentowano w postaci zdjęć wizyjnych i termowizyjnych.

**Etap 2:**

W etapie II, proces monitorowania był identyczny jak w etapie 1, z tym, że monitorowano instalacje rurociągowe. Po zakończonej rejestracji przeprowadzono analizę zarejestrowanego materiału celem lokalizacji potencjalnych uszkodzeń. Po zlokalizowaniu miejsc mogących świadczyć o nieprawidłowościach, przeprowadzono oględziny wskazanych odcinków instalacji. Wyniki oględzin opisano i udokumentowano w postaci zdjęć wizyjnych i termowizyjnych.

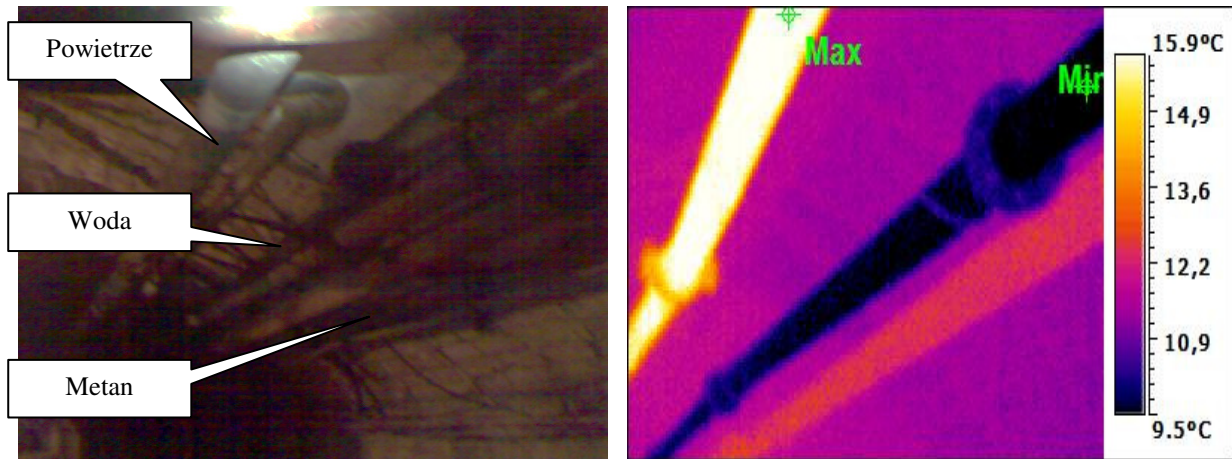
Pierwszą analizę zarejestrowanego materiału dokonywano on-line, w trakcie prowadzonego monitoringu. W przypadku zaobserwowania na ekranie komputera znacznego wzrostu temperatury, następowało zatrzymanie lokomotywy i oględziny wskazanego miejsca. Z uwagi na dynamicznie zmieniający się obraz, konieczne było jednak przeprowadzenie jego analizy w trybie off-line, po zakończonej próbie. Przejrzano wówczas zarejestrowany film termowizyjny po klatkowo. W ten sposób wykrywano nieprawidłowości, które umknęły przy analizie on-line. Przykładowo na rysunku 7 pokazano widok fragmentu monitorowanej instalacji sieci elektrycznej wraz z jej termogramem.



Rys. 7. Zdjęcie wizyjne fragmentu monitorowanej instalacji wraz z jej termogramem [6]

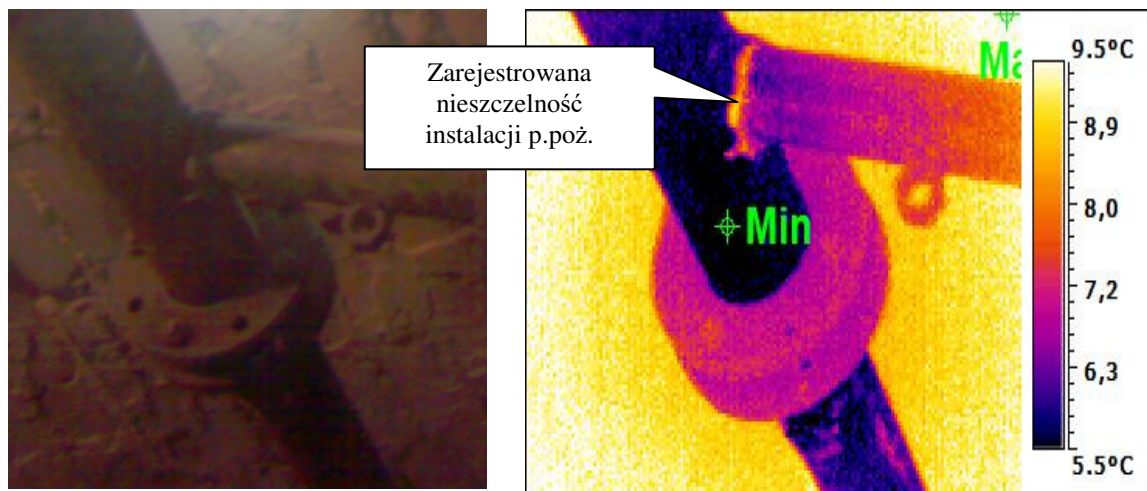
Widać, że różnica temperatury pomiędzy poszczególnymi przewodami elektroenergetycznymi wynosiła ok  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Na tej podstawie można było stwierdzić, że uchwycone przewody elektroenergetyczne, o zróżnicowanym napięciu, miały sprawną izolację.

Podobnie, jak to miało miejsce podczas badań w etapie 1, również w etapie 2 prowadzono analizę rejestrowanego materiału zarówno on-line, jak i off-line instalacji rurociągowych, które cechowały się znacznie większymi różnicami temperatur. Zdjęcie fragmentu poprawnie zmontowanej i prawidłowo eksploatowanej instalacji rurociągowej, wraz z jej termogramem, pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Zdjęcie wizyjne wraz z termogramem fragmentu monitorowanej instalacji rurociąkowej [6]

Widoczne są zdjęcia trzech użytkowanych rurociągów, stosowanych do przesyłu poszczególnych mediów: powietrza, wody oraz metanu. Rurociąg, w którym transportowano materiał na potrzeby instalacji podsadzkowej w podczerwieni był słabo widoczny z uwagi na brak czynnika w jego wnętrzu (nie eksploatowano ściany metodą podsadzkową). Na podstawie zarejestrowanego termogramu można było stwierdzić, w którym z rurociągów przepływało medium. Najwyższą emisyjnością cieplną, spośród zarejestrowanych, cechował się rurociąg służący do doprowadzenia sprężonego powietrza, natomiast najniższą, rurociąg stosowany w instalacji przeciwpożarowej. Średnią wartością temperaturową, w odniesieniu do w/w. rurociągów, cechował się rurociąg będący częścią instalacji odmetanowania kopalni. Analiza on-line obrazu zarejestrowanego termogramu nie wykazała nieprawidłowości. W wyniku przeprowadzonej analizy off-line z zarejestrowanego materiału termowizyjnego, wskazano fragmenty instalacji rurociąkowej sprężonego powietrza oraz przeciwpożarowej, w których wykryto jednak nieszczelności. Wykryte nieprawidłowości w monitorowanej instalacji rurociąkowej, zostały potwierdzone w wyniku przeprowadzonych oględzin jej poszczególnych fragmentów. Na rysunku 9 pokazano zdjęcie wizyjne, wraz z termogramem, wykrytego przy pomocy zastosowanego systemu termowizyjnego fragmentu nieszczelności instalacji rurociąkowej przeciwpożarowej.



Rys. 9. Zdjęcie wizyjne wraz z termogramem zarejestrowanej nieszczelności fragmentu instalacji rurociąkowej przeciwpożarowej [6]

Najwięcej nieszczelności monitorowanej instalacji rurociągowej zidentyfikowano w rurociągach doprowadzających sprężone powietrze. Na rysunku 10 pokazano zarejestrowaną nieszczelność na połączeniu dwóch rurociągów ze sprężonym powietrzem.



Rys. 10. Zdjęcie wizyjne wraz z termogramem fragmentu monitorowanej instalacji rurociągowej ze sprężonym powietrzem [6]

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzony monitoring instalacji elektrycznych oraz rurociągowych w podziemiach jednej z kopalń węgla kamiennego z zastosowaniem opracowanej w ITG KOMAG przeciwwybuchowej instalacji monitoringu termowizyjnego wykazał:

- 8 punktów nieszczelności instalacji rurociągowej powietrznej,
- 3 punkty nieszczelności instalacji rurociągowej p.poż – wodnej,
- 1 nieprawidłowość połączenia przewodu elektroenergetycznego o napięciu 6 kV.

Większość z wykrytych nieszczelności nie byłaby możliwa do zlokalizowania metodą tradycyjnych oględzin.

Przeprowadzony monitoring instalacji górniczych z zastosowaniem systemu termowizyjnego dał zadowalające wyniki. Celem poprawy jakości (czytelności) zarejestrowanego obrazu należałoby zwrócić uwagę na dokładną stabilizację układu kamery termowizyjnej, zwłaszcza w przypadku dynamicznie zmieniającego się obrazu (np. przy przemieszczaniu się instalacji termowizyjnej względem obiektu badanego z prędkością przekraczającą 2 m/s). W przypadku prowadzenia monitoringu przy wyższej prędkości, istotnym jest, aby kamera termowizyjna nie pracowała w trybie automatycznej ostrości obrazu termograficznego, gdyż powoduje to utratę ostrości, a w rezultacie zafałszowanie zarejestrowanego termogramu.

Kolejnym aspektem jaki należałoby uwzględnić, to emisyjność monitorowanych obiektów. Większość rurociągów pokrywa rdza, która wpływa na obniżenie emisyjności badanego obiektu do wartości ok. 0,8 (stal stosowana w nowych rurociągach cechuje się emisyjnością ok. 0,96). Podobna sytuacja dotyczy instalacji elektrycznych. Przewody elektroenergetyczne w osłonie gumowej cechują się emisyjnością o wartości ok. 0,95, natomiast mufy przewodowe, które z reguły pokrywane są porcelaną szkliwioną i mają współczynnik emisyjności o wartości poniżej 0,85 [2].



Należy również stwierdzić, że zastosowanie kamery termowizyjnej w osłonie ognioszczelnej, wraz z dedykowanym komputerem, również w osłonie ognioszczelnej, w sposób znaczący ogranicza mobilność instalacji termowizyjnej. Rozwiązanie to najlepiej sprawdza się w miejscach stacjonarnego pomiaru obiektów. W przypadku prowadzenia monitoringu rozległych fragmentów instalacji kopalnianych, lepszym rozwiązaniem byłaby mobilna (ręczna) kamera termowizyjna zintegrowana z wyświetlaczem.

## Literatura

- [1] Polnik B.: Zastosowanie termografii do diagnozowania maszyn górniczych. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 2011 nr 10, s.1264-1266
- [2] Więcek B., De Mey Gilbert: *Termowizja w podczerwieni podstawy i zastosowania*. Warszawa. Wydawnictwo Pomiary Automatyka Kontrola 2011, ISBN 978-83-926319-7-2
- [3] Matuszewski K.: Możliwości zastosowania kamer termowizyjnych w kopalniach węgla kamiennego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 2005 nr 6, s.15-21
- [4] [www.bartec.pl](http://www.bartec.pl) (10. 2016 r.)
- [5] Sprawozdanie z prac zrealizowanych w ramach projektu INERG „Innowacyjne rozwiązania maszyn wydobywczych podnoszące bezpieczeństwo energetyczne kraju”, realizowanego w ramach przedsięwzięcia IniTech. ITG KOMAG lata 2010-2014
- [6] Polnik B., Deja P., Gołąbek L., Budzyński Z.: *Pomiary wstępne instalacji elektrycznej i rurociągowej prowadzonych w wyrobiskach pionowych i poziomych*. ITG KOMAG Gliwice 2016 (materiały niepublikowane)

## Czy wiesz, że ....

*... uderzenia przesypany urobku w punktach załadunkowych są częstą przyczyną istotnych strat spowodowanych zużyciem w systemach przenośników stosowanych w podziemnych kopalniach węgla, kamieniołomach i kopalniach żwiru. Opracowane przez Flexco specjalne koryta zapobiegają zużyciu poprzez spowolnienie spadającego urobku na przenośnik. Użytkownicy mogą je łatwo modyfikować i dopasować, dzięki możliwości regulacji kątów koryt. Urządzenia te są wykonane ze standardowych komponentów, co sprawia, że są zarówno skuteczne, jak i niedrogie. Listwy udarowe wykonane z twardego polietylenu o ultrawysokim ciężarze cząsteczkowym (PE-UHMW) absorbują siłę uderzenia spadającego urobku, a zewnętrzny pas ochronny, również wykonany z PE-UHMW, uszczelnia strefy ładowania. Koryta udarowe EZIB nadają się do lekkich i średnich obciążeń udarowych oraz do pracy z prędkościami taśm do 5 m/s przy temperaturach otoczenia od -40°C do +82°C. Koryta dostępne są w długościach od 600 do 1200 mm.*

*AT Mineral Processing 2016 nr 11 s.17*