

Struktura i elementy systemu wykrywania pożarów przenośników taśmowych

W artykule przedstawiono strukturę i elementy systemu wykrywania pożarów na trasie przenośników taśmowych w kopalniach węgla kamiennego. System umożliwia wykrycie początkowej fazy pożaru na podstawie analizy pomiarów, realizowanych przez czujniki rozmieszczone wzdłuż trasy przenośnika taśmowego, kontrolujące atmosferę i temperaturę wokół przenośnika taśmowego. W skład czujnika wchodzi detektory: tlenku węgla, cyjanowodoru oraz czujniki dymu i przyrostu temperatury. Struktura systemu oparta jest o system SMP-NT/ lub RELIA (stosowany w kopalniach hiszpańskich). Dodatkową zaletą układu jest możliwość pracy lokalnej w systemie APIS RELIA, co daje możliwość zastosowania monitorowania zagrożenia poza środowiskiem kopalń. Badania systemu przeprowadzono w kopalni San Nicolas w Mides (Hiszpania) oraz sztolni doświadczalnej w CSRG Bytom. Do symulacji pożaru użyto kilku rodzajów próbek taśm produkowanych głównie w Polsce przez FTT Wolbrom oraz jedną próbkę taśmy używanej w kopalniach hiszpańskich przez koncern HUNOSA. Wyniki pozwoliły na opracowanie algorytmu wstępnego wykrywania zagrożenia pożarem na trasie przenośnika taśmowego.*

1. WSTĘP

W kopalniach węgla kamiennego urobek transportuje się głównie za pomocą przenośników taśmowych, których tylko w Polsce pod ziemią zainstalowanych jest ponad 2000 km [1]. Powoduje to duże utrudnienie kontroli dróg transportu pod względem zagrożenia pożarowego przenośników taśmowych. Od 1995 roku w kopalniach polskich odnotowano 21 pożarów taśm przenośnikowych [4,15,16], które wywołane zostały przez:

- zapalenie się ścierów od zatarcia łożyska krążnika (10 zdarzeń),
- zablokowania taśmy (3 zdarzenia),
- tarcie taśmy o konstrukcję lub skałę (5 zdarzeń) oraz
- urządzenia pracujące przy taśmie (3 zdarzenia).

W trakcie prac w projekcie EDAFFIC [14] – z udziałem zagranicznych jednostek naukowych – wyodrębniono jeszcze kilka istotnych przyczyn pożarów występujących w krajach europejskich. Są to:

- tarcie taśmy (niekoniecznie zatarcie),
- zatarcie elementów napędu,
- pożar cieczy palnych,
- poślizg taśmy o napęd,
- zatarty krążnik,
- tarcie hamulców,
- stożek węglowy,
- podwyższona temperatura napędu (przegrzanie napędu),
- zatarcie łożysk napędu,
- przegrzanie przekładni przenośnika,
- schowane elementy koła pasowego (naciągu taśmy),
- iskra, łuk elektryczny,
- tarcie taśmy o konstrukcję,
- gorące powietrze,
- wybuch pyłu węglowego.

Daje to obraz, z jaką liczbą zagrożeń skumulowanych musi radzić sobie obsługa na trasie przenośnika taśmowego. Do monitorowania zagrożenia pożarowego na dzień dzisiejszy zainstalowane są w kopalniach systemy kontrolno-pomiarowe. W polskich kopalniach działają systemy metanowo-pożarowe,

w skład których wchodzi, oprócz czujników metanu, czujniki tlenu węgla, tlenu, dwutlenku węgla oraz dymu, a także czujniki temperatury instalowane w rejonach o podwyższonym ryzyku wystąpienia zagrożenia pożarowego.

Z literatury wynika [1,2,3], że obecnie stosowane taśmy w podziemiach kopalni zawierają takie substancje jak: celulozę, poliamid, poliamid aromatyczny, poliestry, a okładki i obrzeża, dodatkowo różnego rodzaju kauczuki, które mogą zawierać także substancje chloropochodne. Powoduje to, że w trakcie pożaru lub nawet wcześniej, w trakcie zagrzenia taśmy, wydzielają się gazy toksyczne lub trujące, takie jak: tlenek węgla, cyjanowódor, tlenki azotu, siarkowódor, chlorowódor, siarczek karbonylny i inne o śladowych ilościach, niewpływające na zdrowie człowieka. Podczas wstępnych badań wyodrębniono detektory, które precyzyjnie odwzorowują pojawienie się dymu i/lub gazów, co świadczy o rozpoczynającym się procesie tlenienia się fragmentów taśmy, zapalenia się taśmy, a nawet o pożarze.

Detektory, które zostały wykorzystane w opracowaniu nowego czujnika monitorującego zagrożenie pożarowe wykrywają cyjanowódor oraz tlenek węgla. Badania [6,11] wykazały, że dla monitorowania zagrożenia pożarowego dobrze jest doposażyć system kontroli o czujnik dymu oraz o czujnik przyrostu temperatury. Stąd dodatkowo zastosowano możliwość podłączenia dowolnych dwóch czujników, zapewniających kontrolę atmosfery lub temperatury wokół przenośnika taśmowego. Opracowany czujnik wraz z detektorami i zewnętrznymi czujnikami został nazwany czujnikiem wielodetektorowym [10] i przystosowany jest do pracy z systemem SMP/NT oraz RELIA (stosowany w kopalniach hiszpańskich). Opcjonalnie czujnik może pracować lokalnie w systemie APIS RELIA.

2. ZAŁOŻENIA SYSTEMU

We wstępnych etapach projektu EDAFFIC partnerzy zagraniczni weryfikowali następujące problemy i zadania:

- pomiar produktów gazowych spalania taśm stosowanych w górnictwie w celu wybrania detektorów, zdolnych do wczesnego wykrycia zagrożenia pożarowego przenośników taśmowych,
- analizę i testy różnych typów sensorów do detekcji produktów spalania,
- wykonanie zintegrowanych testów obrazu kamerami termowizyjnymi dla oceny zagrożenia pożarowego (termicznego) monitorowanego obiektu,

- opracowanie bezprzewodowych lub przewodowych detektorów temperatury monitorujących przegrzanie konstrukcji przenośnika taśmowego,
- opracowanie niezawodnego czujnika wielodetektorowego w wykonaniu przeciwwybuchowym ATEX do wczesnego wykrycia zagrożenia pożarowego przenośników taśmowych,
- integrację czujników w systemach stosowanych u partnerów projektu w kopalniach węglowych,
- określenie lokalizacji detektorów na trasie przenośnika taśmowego dla efektywnego wykrycia pojawienia się pożaru.

W ramach wstępnych badań [5,6,11] wykonano model stanowiska wraz z siedmioma detektorami: tlenku węgla CO (0÷500 ppm), chlorowodoru HCl (0÷50 ppm), dwutlenku siarki SO₂ (0÷20 ppm), tlenku azotu NO (0÷250 ppm), cyjanowodoru HCN (0÷50 ppm), wodoru H₂ (0÷1000 ppm), dwutlenku węgla CO₂ (0÷5%), temperatury (-55÷150°C) i czujnika dymu MCD-1. Badania przeprowadzono dla trzech rodzajów taśm przenośnikowych stosowanych w kopalniach węglowych. Testy wykonano dla:

- taśmy tkaninowo-gumowej trudno palnej dla górnictwa podziemnego – 1200 22721 GTP EP 1250 4 2+2 L C2, cecha WUG GM-62/11,
- taśmy tkaninowo-gumowej trudno zapalnej ogólnego przeznaczenia – 1000 14890 EP 1250 4 4+2 LK 3A, certyfikat bezpieczeństwa Nr 92/09,
- taśmy tkaninowo-gumowej zwykłej ogólnego przeznaczenia – 1400 14890 EP 800 4 6+2 D1, certyfikat bezpieczeństwa Nr 6/10.

Ostatnią taśmę w badaniach użyto dla porównania z taśmami trudno palnymi i trudno zapalnymi. Wyniki badań zostały opublikowane i są dostępne w publikacjach z projektu [6,11,17].

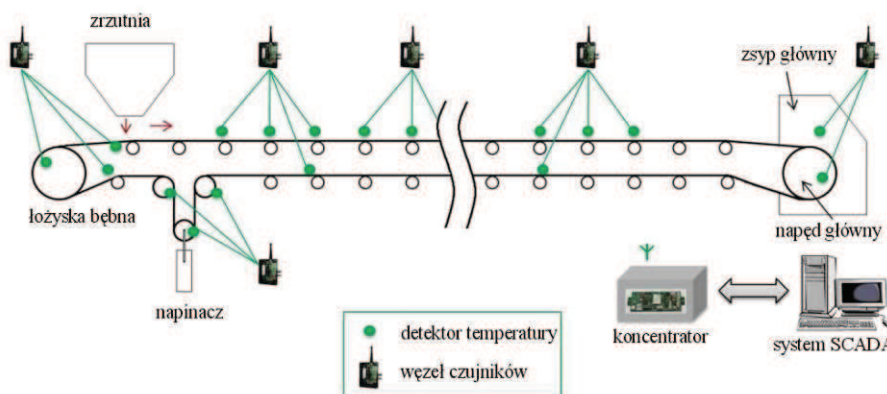
Badanie to pozwoliło na wyodrębnienie takich detektorów, które najszybciej zareagują na pojawiające się zagrożenie pożarowe. Należało tutaj w pierwszej kolejności określić kryterium wyboru detektorów do budowy czujnika wieloparametrowego.

Przy ocenie detektorów brano pod uwagę przede wszystkim ich szybkość reakcji na początkowe produkty pożaru oraz odporność na zatrucie gazami wydzielanymi podczas spalania taśmy. Niektóre detektory bardzo dobrze i szybko odwzorowały pojawienie się produktów spalania fragmentu taśmy (okładzin), lecz, niestety, zatrzymały się i ich czas czyszczenia (uwolnienia z zatrucia) wynosił nawet do jednego dnia, przy bardzo małych próbkach palonej taśmy (rzędu mg).

Ostatecznie wybrano do opracowania nowego czujnika do wczesnego wykrycia zagrożenia pożarowego detektor cyjanowodoru, tlenku węgla i dwutlenku siarki. Analizując wyniki pomiarów różnych



Rys. 1. Bezprzewodowy węzeł transmisji wraz z detektorem temperatury (AITEMIN [14])



Rys. 2. System bezprzewodowej detekcji przegrzania konstrukcji taśmociągu (AITEMIN [14])

próbek taśm (okładkę, bieznik, włókno tkaniny rdzenia), zauważono, że pomiar dwutlenku siarki pojawia się w początkowym okresie zagrzewania się taśmy, podobnie jak cyjanowodor. W późniejszym czasie charakter pomiaru dwutlenku siarki pokrywa się z pomiarem tlenku węgla. Dlatego ostatecznie zostawiono dwa detektory: cyjanowodoru i tlenku węgla, a w miejsce dwutlenku siarki zastosowano detektor KHT do pomiaru parametrów fizycznych powietrza, tj.: ciśnienia, temperatury i wilgotności. Pozwoli to na określenie wpływu czynników środowiskowych zakłócających poszczególne detektory.

Kolejnym etapem w ramach projektu były testy zagrzewania się przenośnika taśmowego z wykorzystaniem kamery termowizyjnej [14]. Zadanie polegało na opracowaniu możliwości zastosowania kamery termowizyjnej do detekcji elementów konstrukcji przenośnika taśmowego, które przekraczają dopuszczalną temperaturę oraz określenie dystansu od źródła zagrożenia pożarowego. Testy wykazały także punkty konstrukcji najbardziej wrażliwe termicznie, w których można zastosować detektory temperatury.

W projekcie zaprojektowano dwa rodzaje pomiaru zagrożenia termicznego konstrukcji taśmociągu. Pierwszy, oparty na czujnikach temperatury w systemie transmisji bezprzewodowej oraz drugi, oparty na porównaniu przyrostów temperatury na danej sekcji przenośnika względem temperatury odniesienia, którą najczęściej jest temperatura otoczenia.

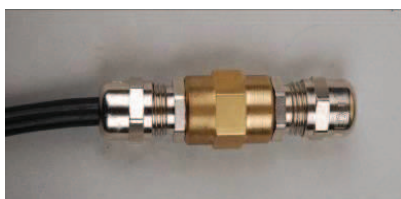
3. ELEMENTY SYSTEMU

3.1. System bezprzewodowej transmisji temperatury

System bezprzewodowej kontroli trasy przenośnika opracowany został przez partnera projektu, firmę AITEMIN [14] i bazuje na detektorach SHT75 (rys. 1) oraz bezprzewodowej transmisji za pomocą węzłów zintegrowanych z systemem SCADA (rys. 2). Pełni on rolę kontrolera przekroczeń temperatury konstrukcji lub otoczenia przenośnika taśmowego, informując obsługę o zaistniałym zdarzeniu.

3.2. Czujnik kontroli przyrostu temperatury

Układ działający na zasadzie porównania przyrostów temperatury opracowany został w Instytucie EMAG [8]. Czujnik przyrostu temperatury CPT (rys. 3) składa się ze stacji bazowej oraz detektorów porównawczych różnicy temperatur pomiędzy punktem konstrukcji taśmociągu a temperaturą odniesienia T_0 . Do czujnika mogą być podłączone maksymalnie 4 linie pomiarowe, z których każda linia może składać się z 20 detektorów. Czujnik, tym samym, może dokonywać kontroli przyrostów temperatury w maksymalnie 80 punktach.



Rys. 3. Czujnik przyrostu temperatury CPT wraz z pojedynczym detektorem temperatury

3.3. Czujnik dymu MCD-1

Podczas spalania małych próbek taśm pierwszym pojawiającym się sygnałem, informującym o zaistniałym zagrożeniu, jest dym. W Instytucie EMAG opracowano czujnik dymu [9] oparty na bazie izotopowej czujki typu DIO-40, produkowanej przez POLON-ALFA Sp. z o.o. w Bydgoszczy.

Zasada działania czujnika polega na porównaniu rezystancji komory jonizacyjnej z komorą porównawczą. Zadymione powietrze wpływa do komór jonizacyjnej oraz porównawczej i miesza się z powietrzem zjonizowanym. Jonizacyjna czujka dymu reaguje na widoczne i niewidoczne okiem cząstki dymu. Sygnał wyjściowy jest różnicą sygnałów z obu komór. Czujnik MCD-1 (rys. 4) potrafi sam adoptować się do zmieniających się warunków pracy (prędkość przepływu powietrza, zapylenie, wilgotność) w dłuższych okresach czasowych i sygnał wyjściowy jest odwzorowaniem pojawiającego się dymu.

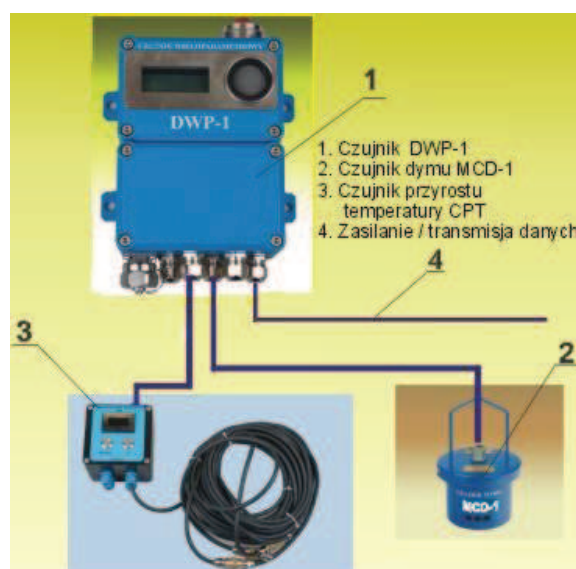


Rys. 4. Czujnik dymu MCD-1 (prod. Sevitel sp. z o.o.)

Realizując wymagania projektowe EDAFFIC, w których zależy na jak najszybszej detekcji pożaru lub dokładnym wykryciu zagrożenia pożarowego, czujnik dymu został zaadoptowany do czujnika wieloparametrowego w wykonaniu przeciwwybuchowym ATEX do wczesnego wykrycia zagrożenia pożarowego przenośników taśmowych. Pozwala to na szybką i pewniejszą ocenę pojawiającego się zagrożenia pożarowego (wczesnej detekcji).

3.4. Czujnik wielodetektorowy

Na podstawie badań próbek taśm, analizy wyników pomiarów detektorów opracowano czujnik wielodetektorowy (rys. 5), który wykonany został dzięki budowie iskrobezpiecznej klasy Ex ia i uzyskał certyfikat ATEX.



Rys. 5. Czujnik wielodetektorowy

Strukturę czujnika tworzą następujące elementy:

- czujnik wieloparametrowy DWP-1,
- czujnik przyrostu temperatury CPT,
- mikroprocesorowy czujnik dymu MCD-1.

„Sercem” czujnika wielodetektorowego jest czujnik wieloparametrowy DWP-1 [7,10], do którego podłączone są analogowe czujniki informujące o zagrożeniu termicznym (przekroczenie temperatury na konstrukcji taśmociągu – czujnik CPT [8]) oraz pojawieniu się dymu (czujnik MCD-1 [9]). W zależności od miejsca zastosowania czujników istnieje możliwość zmiany podłączonych czujników analogowych, np. w miejsce czujnika CPT można zastosować czujnik do pomiaru prędkości powietrza w wyrobisku, gdzie zamontowany jest taśmociąg. Pozwoli to na weryfikację prędkości strumienia przepływającego prądu powietrza dla dokładniejszej analizy prędkości rozchodzenia się wydzielanych gazów pożarowych na wczesnym etapie pożaru.

Czujnik przyrostu temperatury CPT może pracować lokalnie, informując o przekroczeniu na wyświetlaczu alfanumerycznym oraz o podwyższonym napięciu na wyjściu, co odwzorowuje zagrożenie przegrzania konstrukcji taśmociągu na jednej z czterech linii pomiarowych.

Czujnik wieloparametrowy DWP-1 posiada dodatkowo oprócz dwóch wejść analogowych, wyjście analogowe oraz w wersji DWP-1v.2 łącze transmisji szeregowej RS485. Natomiast w wersji DWP-1v.1 czujnik posiada połączenie ze stacją powierzchniową przewodami kopalnianej sieci telemetrycznej, przy czym jedna para służy zarówno do zasilania urządzenia dołowego, jak i transmisji danych pomiarowych. Protokół transmisji przystosowany jest do połączenia z centralą telemetryczną CMC-4 i pracą w systemie SMP-NT.

3.5. Wskaźnik pożarowy

System wykrywania pożarów powinien charakteryzować się wysoką czułością przy minimalizacji ilości fałszywych alarmów, które podważają zaufanie do działania systemu oraz musi sygnalizować stan kontrolowanego obiektu na podstawie jak największej liczby danych. Przy dokonywaniu pomiarów jednego parametru (produktu źródła pożarowego) realizowane jest to za pomocą filtracji przebiegu na podstawie danych z pewnego okresu czasu. Daje to możliwość wyeliminowania pewnych danych, odbiegających od przebiegu sygnału (zakłóceń szybkozmiennych). Wprowadzenie pomiarów większej liczby parametrów (produktów źródła pożarowego), które są niezależne (różne detektory), pozwala na wprowadzenie wspólnego wskaźnika pożarowego. W zależności od możliwości przetwarzania sygnałów można zastosować:

- wskaźnik pożarowy uproszczony, obliczany w procesorze czujnika wieloparametrowego,

- wskaźnik pożarowy rozszerzony, obliczany w stacji centralnej systemu wykrywania, który został szerzej opisany we wcześniejszej publikacji [17].

Wskaźnik pożarowy obliczany w czujniku wieloparametrowym zależy od liczby mierzonych parametrów, czyli liczby podłączonych czujników. W parametrach pracy czujnika DWP-1 należy ustawić, jakie detektory są zainstalowane, ich zakresy oraz czułości (uśrednienia wartości chwilowych za wybrany okres czasu).

Wskaźnik W_p' pożarowy obliczony został na podstawie wzoru:

$$W_p' = \frac{\bar{x}_{CO} + \bar{x}_{HCN} + \bar{x}_D}{3} \quad (1)$$

gdzie:

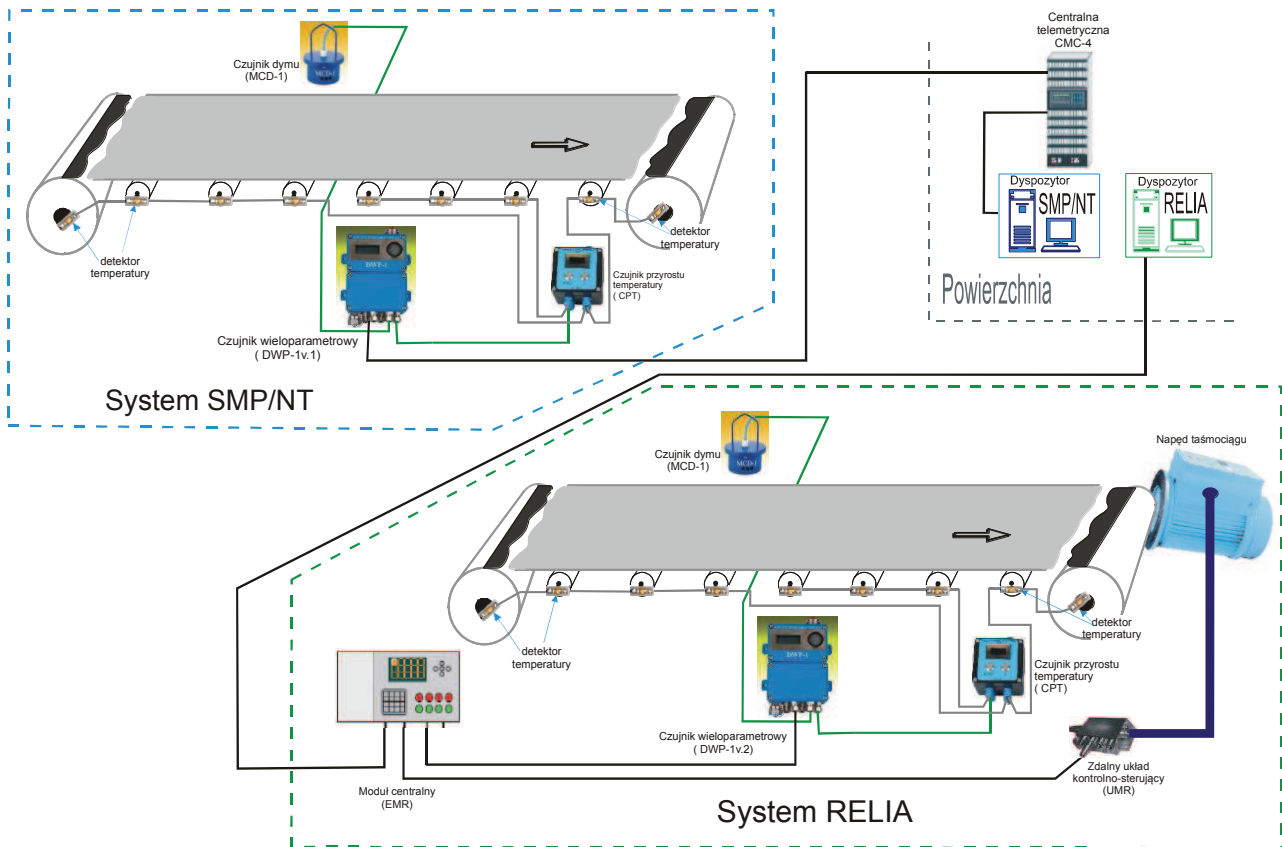
- \bar{x}_{CO} – przefiltrowana i znormalizowana wartość sygnału tlenu węgla,
- \bar{x}_{HCN} – przefiltrowana i znormalizowana wartość sygnału cyjanowodoru,
- \bar{x}_D – przefiltrowana i znormalizowana wartość sygnału dymu.

Na podstawie wstępnie przetworzonych sygnałów opracowany został wspólny wskaźnik zagrożenia pożarowego W_p' . Sygnały wejściowe wskaźnika są znormalizowane. Kryterium normalizacji oparte jest na podstawie odchylenia standardowego sygnałów zerowych detektorów oraz stabilizacji powtarzalności pomiarowej. Głównym kryterium jest poziom 100%, do którego odnoszą się wszystkie komory pomiarowe, w zależności od miejsca umieszczenia czujnika wielodetektorowego oraz ilości punktów zabezpieczenia strefy taśmociągu.

Uśrednianie wartości różnych parametrów źródła pożarowego zwiększają pewność podejmowania decyzji o stanie obiektu kontrolowanego.

4. SYSTEMY, DO KTÓRYCH JEST DEDYKOWANY CZUJNIK WIELOPARAMETROWY

W ramach projektu dokonano integracji czujnika w systemie SMP-NT oraz RELIA. Analizując działanie systemu RELIA, wybrano możliwość podłączenia do systemu za pośrednictwem łącza RS485, aby możliwe było przekazanie wszystkich danych pomiarowych oraz dokonanie konfiguracji z powierzchni. Istnieje także ewentualność podłączenia czujnika do zdalnego układu kontrolno-sterującego za pomocą wyjścia napięciowego z czujnika DWP-1. Rozwiązanie takie (rys. 6) powoduje ograniczenie informacji do jednego parametru (wskaźnika pożarowego), będącego wynikiem obliczeń stanu zagrożenia pożarowego.



Rys. 6. Podłączenie czujnika wielodetektorowego do systemów: SMP/NT i RELIA

wego z pomiarów detektorami. W systemie SMP-NT czujnik widziany jest jako moduł centrali z ośmioma detektorami analogowymi, przy czym ostatni parametr jest wynikiem obliczeń chwilowych wskaźnika pożarowego, odwzorowującego stan zagrożenia pożarowego w skali od 0 do 100%.

4.1. System RELIA

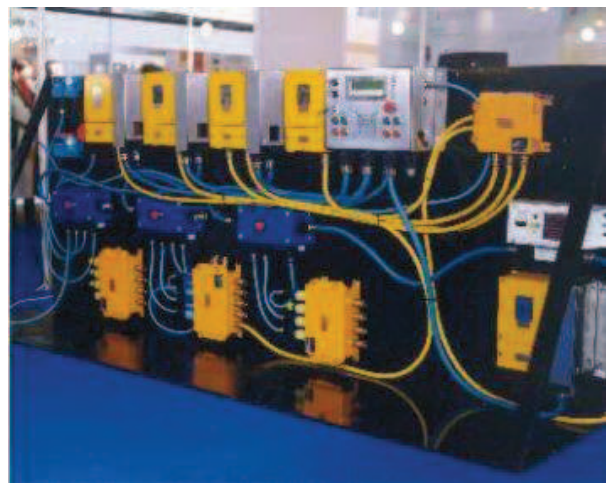
System monitorowania RELIA [14] został opracowany przez Instytut AITEMIN Madryt jako system automatycznej kontroli dla górnictwa podziemnego.

Jest on oparty jest na technice pola magistrali i jest zaprojektowany do monitorowania środowiska kopalnianego oraz parametrów maszyn przy eksploatacji między pokładowej, jednakże jego wszechstronność pozwala na monitorowanie i kontrolę innych instalacji podziemnych, takich jak systemy transportowe oparte na przenośnikach taśmowych. System zawiera wiele różnych elementów dodatkowych, takich jak: stacje kontroli, optyczne i akustyczne elementy do kontroli maszyn i sygnalizacji.

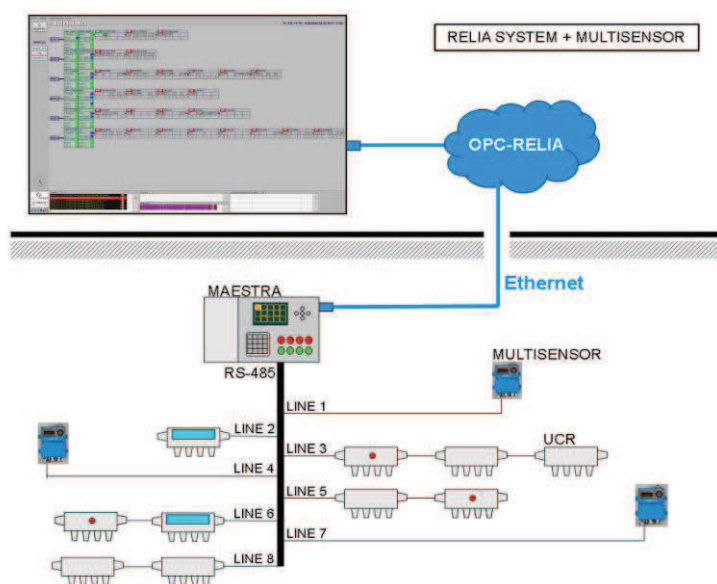
Struktura systemu RELIA (rys. 7) ma topologię magistrali polowej, co oznacza, że sygnały wejścia/wyjścia są przekazywane do/z modułów central-

nych EMR lub MAESTRA do zdalnych układów kontrolno-sterujących typu UCR, za pomocą pojedynczych kabli o dużej przepustowości danych. Transmisja pomiędzy modułem centralnym EMR a zdalnym układem kontrolno-pomiarowym odbywa się za pomocą protokołu Fieldbus.

Zasilanie czujników oraz organów wykonawczych odbywa się za pomocą tego samego kabla.



Rys. 7. Elementy składowe systemu RELIA (EMR i UCR - AITEMIN [14])



Rys. 8. Integracja czujnika wieloparametrowego DWP-1 w systemie RELIA (AITEMIN [14])

Typowa konfiguracja systemu kontroli RELIA:

- Stacja nadrzędna EMR II lub MAESTRA – kontroluje do 6 pól, z czego 5 z nich może być podwójnych, dając w ten sposób w sumie 11 linii kontroli. Stacja EMR-II zapamiętuje logikę działania kontrolowanych maszyn, a jej działanie jest niezależne od stacji centralnej.
- Moduł kontroli UCR II – zdalny układ kontrolno-pomiarowy, umożliwiający sterowanie wejścia lub wyjścia zawierające 4 wielofunkcyjne interfejsy dla sygnałów analogowych i logicznych napięcia, prądu i częstotliwości. Jego pełna wersja posiada konfigurowalny wyświetlacz oraz 4 panele sterowania (przyciski zał/wył).
- Zasilacz FARD-V3 – iskrobezpieczny zasilacz (12 VDC 550 mA) wyposażony w moduł akumulatorowy zapewniający 2-godzinne zasilanie autonomiczne.
- AES-02 – iskrobezpieczny adapter wejścia-wyjścia, który posiada 2 wejścia cyfrowe i 1 wyjście przekaźnikowe. Wykonany jest w dwóch wersjach: AES-02/i do sterowania obwodów iskrobezpiecznych oraz AES-02/48m dla nieiskrobezpiecznych obwodów monitorowania do napięcia 48 V.
- Moduł wzmacniacza ICOM-2000 do transmisji głosu – do magistrali systemu kontroli RELIA dodana jest dodatkowa linia audio do komunikacji głosowej oraz sygnalizacji akustycznej. ICOM-2000 jest przeznaczony do realizacji w krótkim czasie transmisji głosowej wysokiej jakości i może być stosowany niezależnie od RELIA, umożliwiając podłączenie różnych urządzeń do jednej linii zasilanej z zasilacza FARD-V3.

Możliwa jest integracja czujnika wieloparametrowego DWP-1 w systemie RELIA (rys. 8). Stacja

centralna monitorowania, usytuowana na zewnątrz kopalni, wraz z oprogramowaniem SCADA SISCOM II przeznaczona głównie do zmiennych warunków środowiska kopalnianego. Użytkownik może za pomocą SISCOM II w prosty sposób przeprowadzić konfigurację podziemnej instalacji kontroli.

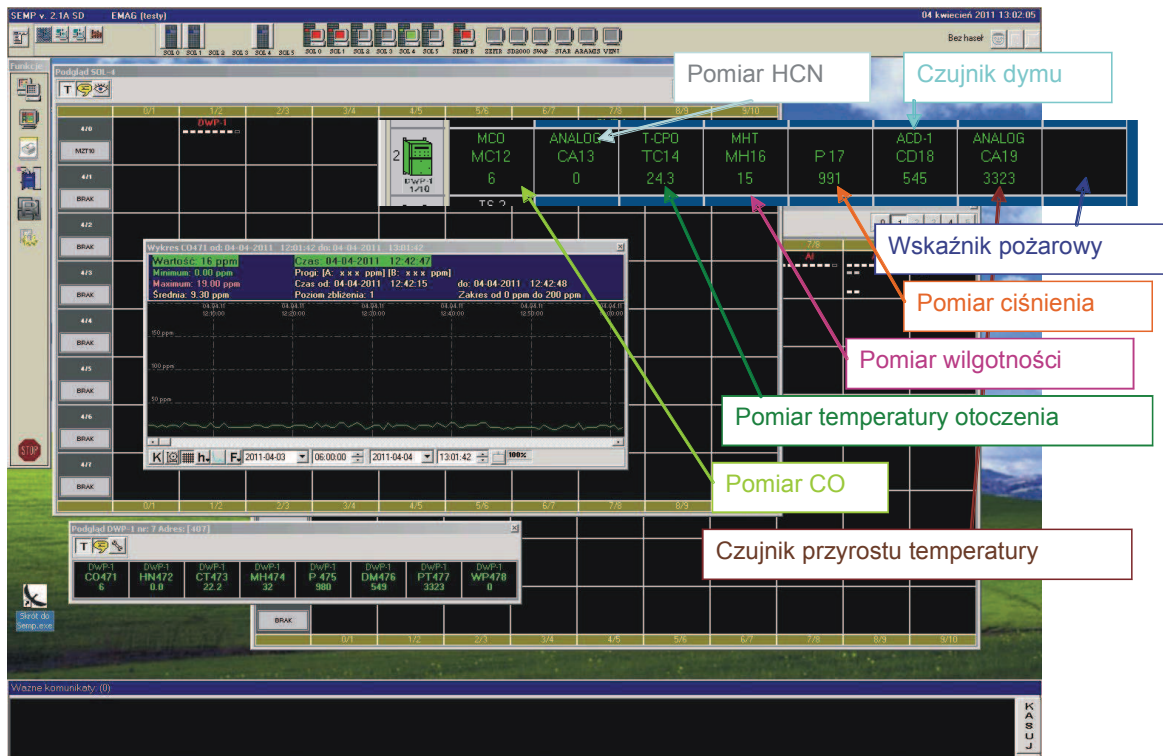
4.2. System SMP-NT

System SMP-NT [13] jest przeznaczony do ciągłej kompleksowej kontroli stanu bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach kopalń oraz stanu pracy urządzeń wentylacyjnych. Zapewnia automatyczną kontrolę i rejestrację wyników pomiarów w pamięci masowej komputera centralnego. Pozwala również na wszechstronną analizę i sygnalizację zagrożeń oraz stanów krytycznych, raportowanie i wizualizację graficzną.

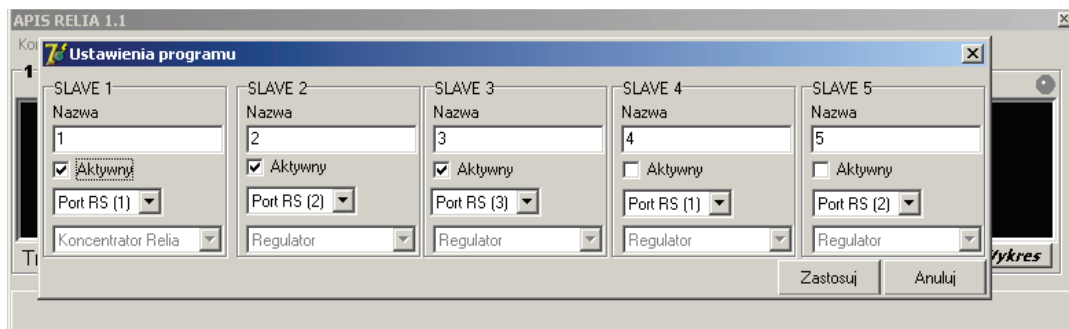
Urządzenia dołowe służą do zbierania i przesyłu danych pomiarowych z czujników analogowych i dwustanowych do stacji powierzchniowej. Urządzenia dołowe są ponadto wyposażone w wyjścia przekaźnikowe, za pomocą których mogą być realizowane funkcje sterujące (np. wyłączanie energii) w układach lokalnych lub na polecenie operatora z punktu dyspozytorskiego na powierzchni.

System SMP-NT umożliwia prowadzenie niezależnej kompleksowej kontroli parametrów środowiska kopalnianego na podstawie pomiarów:

- parametrów fizycznych i składu chemicznego powietrza,
- stanu i parametrów pracy urządzeń wentylacyjnych,
- stanu pracy wybranych maszyn i urządzeń technologicznych, istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa.



Rys. 9. Wyświetlanie wartości sygnałowych czujnika DWP-1 w systemie SMP-NT/A



Rys. 10. Okno aplikacji ustawienia portów rejestratora do komunikacji z DWP-1

Wchodzące w skład systemu urządzenia kontrolno-pomiarowe, pracujące w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu, są iskrobezpieczne i są zasilane zdalnie z powierzchni. Dzięki temu system zachowuje swe funkcje metrologiczne i wykonawcze w każdych warunkach, niezależnie od stanu dołowej sieci energetycznej.

Wizualizacja danych w systemie

Stany czujnika i obiektu kontrolowanego są sygnalizowane lokalnie – optycznie na sygnalizatorze czujnika oraz przesyłane do centrali na powierzchni i wizualizowane w systemie monitorowania (rys. 9).

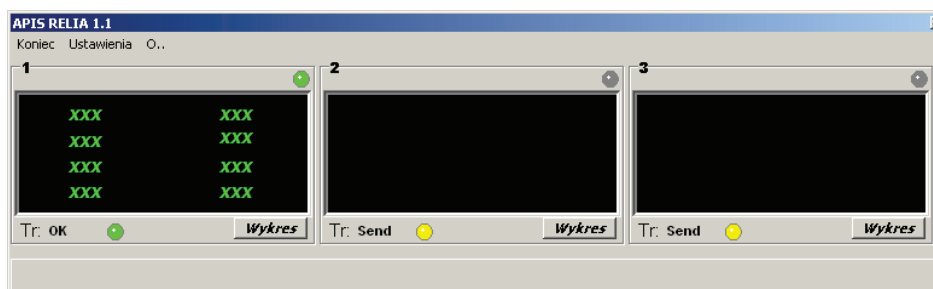
Na podstawie sygnałów pomiarowych przedstawiane są w centrali pomiarowej:

- dane wskazań czujników,
- wskaźnik pożarowy,
- graficzne przebiegi danych pomiarowych i przetworzonych.

4.3. System lokalny APIS RELIA

Oprogramowanie APIS RELIA zostało przygotowane do komunikacji z czujnikami DWP-1 z wykorzystaniem protokołu po magistrali RS485. Każdy z czujników przesyła 8 wartości analogowych. Czujnik DWP-1 traktowany jest w systemie jako SLAVE i podłączony jest za pomocą jednej linii transmisyjnej. Do systemu można podłączyć maksymalnie do pięciu czujników wielodetektorowych (rys. 10), co w zupełności wystarcza na objęcie lokalnie kontrolą jednego przenośnika taśmowego.

Okno ustawienia portów szeregowych zawiera pięć pól, gdzie można wybrać numer portu oraz prędkość transmisji. Istnieje możliwość zmiany prędkości transmisji, jednak należy mieć na uwadze zwiększenie błędów ramek transmisji wraz ze wzrostem szybkości przesyłu danych.



Rys. 11. Okna działania aplikacji APIS RELIA

Okno programu wyświetla dane na tle czarnych prostokątów (rys. 11). Każdy prostokąt symbolizuje pojedynczy moduł SLAVE, w tym przypadku pojedynczy czujnik DWP-1. Dane pomiarowe są prezentowane w dwóch kolumnach. Brak danych lub błąd komunikacji jest sygnalizowany poprzez wyświetlenie znaków „xxx”. W innym przypadku są wyświetlane dane pomiarowe. Klawisz „Wykres” wywołuje na ekran okno z wykresem chwilowym wartości pomiarowych. Wartości archiwalne można ściągnąć w formacie „*.csv” i przeglądać w dostępnych programach graficznych typu: Excel, MatLab, Matematica, Statistica.

Program ten można wykorzystać do badań polowych lub laboratoryjnych oraz do rejestracji danych w systemie pracy lokalnej.

5. BADANIA I TESTY

5.1. System bezprzewodowej transmisji detekcji temperatury

Podstawowym założeniem punktowego pomiaru temperatury dla wykrycia przyrostów zgrzewania się konstrukcji taśmociągu jest wykrycie miejsca pojawienia się ogniska pożaru. W europejskich kopalniach węglowych, a także na świecie, zainstalowane są systemy monitorowania parametrów atmosfery oraz urządzeń dołowych. Systemy te kontrolują stan pracy w wyrobiskach kopalń, a także pracę urządzeń transportowych, urabiających węgiel czy pomocniczych. Większość systemów wykorzystuje systemy przewodowe na zasadzie topologii gwiazdowej albo magistral lokalnych czy centralnych, dlatego w projekcie zaproponowano metodę bezprzewodowej transmisji za pomocą układu połączonych sensorów z węzłem, które łączą się za pomocą koncentratora lokalnego z systemem wizualizacji i rejestracji u dyspozytora kopalni. Możliwość taka pozwoli na wyeliminowanie długich kabli łączących punkty pomiarowe na konstrukcji taśmociągu. Układ zasto-

sowanych sensorów ma jeszcze jedną zaletę: dokładność pomiarowa temperatury wynosi $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, co pozwala na szybkie wykrycie małych zmian temperatury w otoczeniu konstrukcji taśmociągu.

Reasumując, opracowany system bezprzewodowej transmisji został zaprojektowany do stosowania w kopalniach, i zapewnia:

- prostotę instalacji (łatwość wymiany pojedynczych sensorów),
- łatwość utrzymania (kontroli stanu węzłów bezprzewodowej transmisji),
- dokładność sensorów pomiarowych,
- obniżenie kosztów w porównaniu do instalacji tradycyjnych kablowych.

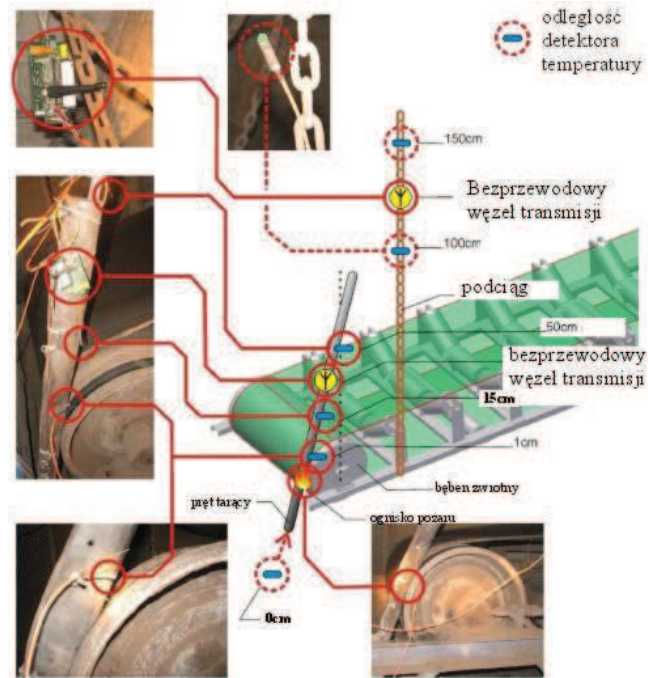
Badania polowe systemu bezprzewodowej transmisji wykonano w kopalni San Nicolás, położonej w regionie Asturii, na północy Hiszpanii, po integracji czujników opracowanych w projekcie EDAFFIC [14] do pracy w systemie RELIA (rys. 12).

Wykonano symulację zgrzewania taśmy za pomocą blokady bębna zwrotnego na końcu taśmociągu. Temperatura styku taśmy z elementem blokującym wynosiła około 300°C , natomiast sensory umieszczone zostały w siedmiu punktach w różnych odległościach od konstrukcji taśmociągu.

Wyniki pokazały, że najbardziej wiarygodny pomiar jest dla sensora umieszczonego w odległości 15÷50 cm od taśmy. Bliżej usytuowane sensory narażone są na uszkodzenie mechaniczne z poruszającej się taśmy i urobku na taśmie, natomiast rozlokowanie sensorów w większej odległości (np. 100 cm, 150 cm) powodować może mylne sytuacje, np. pojawienie się fałszywych alarmów. Różnica temperatur pomiędzy otoczeniem a sensorem wynosiła mniej niż 1°C .

5.2. Testy detekcji przyrostu temperatury

W ramach projektu EDAFFIC przeprowadzono badania laboratoryjne obrazu kamerami termowizyjnymi dla oceny możliwości propagacji ciepła, wynikającej z przegrzania konstrukcji taśmociągu, będącego skutkiem wystąpienia zagrożenia pożarowego [5,11].

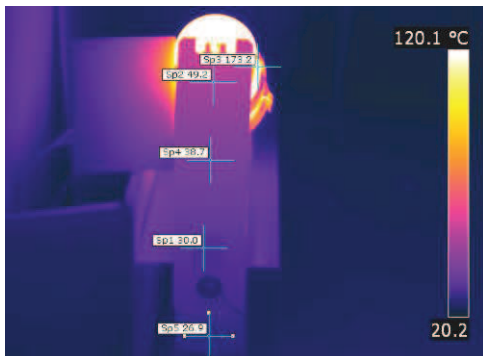


Rys. 12. Badania układu bezprzewodowej transmisji z detektorami temperatury umieszczonymi na konstrukcji taśmociągu (AITEMIN [14])

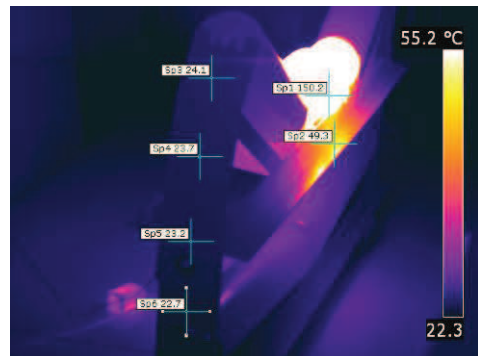
Wykonano zdjęcia symulacyjne poślizgu taśmy lub zatarcia krążników oraz zagrzania konstrukcji taśmociągu (rys. 13) w kilku miejscach:

- na bocznym krążniku przęśła górnego,
- na środkowym krążniku przęśła górnego,
- na rolce dolnej,
- na ścianie bocznej konstrukcji taśmociągu.

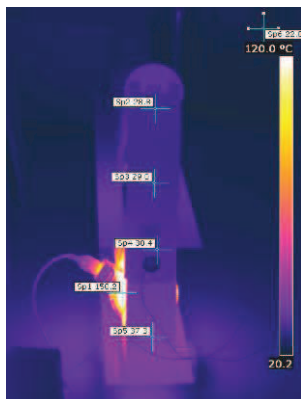
a)



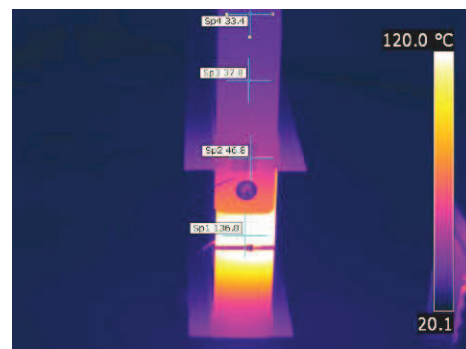
b)



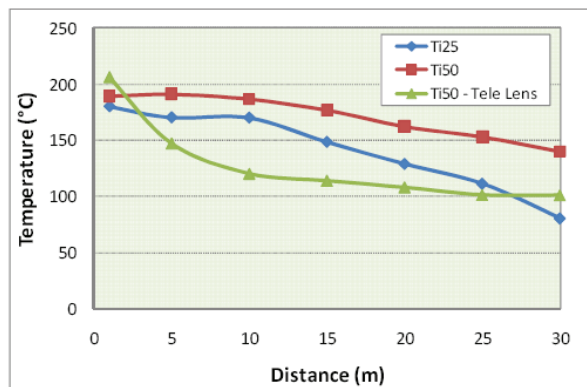
c)



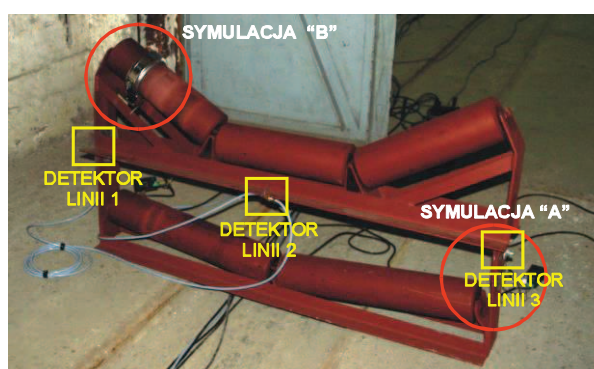
d)



Rys. 13. Wyniki badań termowizyjnych podczas nagrzewania: a) rolki górnej-bocznej, b) rolki górnej-środkowej, c) rolki dolnej, d) płaskownika bocznego



Rys. 14. Symulacja grzania punktowego pod taśmą przenośnika oraz wykres zależności widzianej temperatury od odległości dla trzech różnych kamer IR (MRSŁ [14])



Rys. 15. Miejsca zainstalowania grzałek oraz detektorów temperatury dla obydwu symulacji

Badania pozwoliły na wybranie najbardziej wrażliwych punktów konstrukcji taśmociągu, odwzorowujących pojawienie się zagrożenia pożarowego lub zagrzenia się elementów metalowych na skutek czynnika zewnętrznego. Punkty te zostały w dalszych badaniach sprawdzone przy wykorzystaniu do tego celu czujnika przyrostu temperatury CPT, pracującego w systemie lokalnym (na wyświetlaczu alfanumerycznym oraz na woltomierzu).

Dodatkowo w ramach projektu oszacowano dokładność pomiaru obrazem z kamery IR w zależności od odległości od punktu zapalnego, tak, aby punkt ten znajdował się w polu widzenia obserwatora (obsługi) [14].

W ramach badań dokonano sprawdzenia czujnika CPT poprzez nagrzewanie konstrukcji przęsła taśmociągu z zastosowaniem grzałek ceramicznych, umieszczonych w dwóch skrajnych punktach, a wyniki rejestrowano (rys. 14).

Grzałki posiadały regulację temperatury poprzez regulator temperatury, umożliwiający podgrzewanie konstrukcji do 300°C. W trakcie badań przeprowadzono dwie symulacje nagrzewania się konstrukcji w wyniku tarcia taśmy:

- symulację tarcia taśmy o boczny płaskownik konstrukcji,
- symulację tarcia taśmy o zatarty krążnik.

Miejsca zainstalowania grzałek oraz detektorów temperatury dla obydwu symulacji przedstawiono na rysunku poniżej (rys. 15).

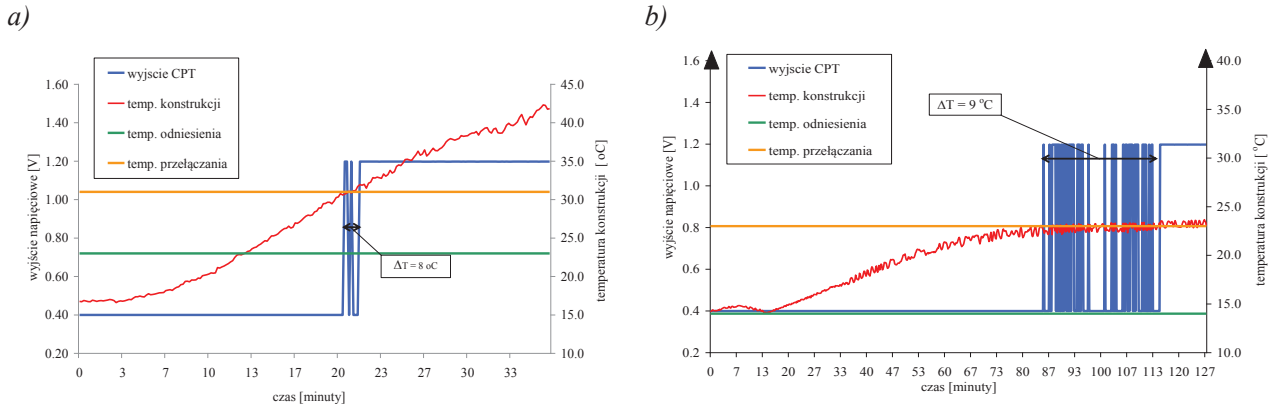
Badania polegały na podgrzewaniu elementów konstrukcji przenośnika od temperatury otoczenia i obserwacji stanu wyjścia analogowego czujnika CPT oraz wyświetlacza bazy, sygnalizujących stan awaryjny po przekroczeniu temperatury konstrukcji o 8°C względem temperatury otoczenia T_0 (rys. 16).

Podczas przeprowadzonych badań, przyrost temperatury konstrukcji wykryły jedynie detektory zlokalizowane na bocznych płaskownikach konstrukcji przenośnika. Czas reakcji (zadziałania) czujnika CPT uzależniony jest od umiejscowienia detektorów temperatury i miejsca wystąpienia awarii.

5.3. Testy czujnika wielodetektorowego dla określenia zagrożenia pożarowego (parametry gazowo-dymne)

5.3.1. Badania w CSRG

Czujniki pomiarowe zlokalizowane zostały w odległości ~3 m, ~25 m i ~60 m od źródła pożaru (rys. 17).



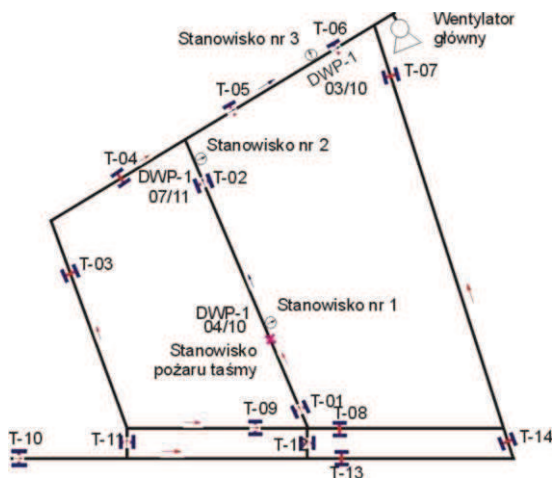
Rys. 16. Wyniki badań dla symulacji tarcia taśmy
a) o boczną konstrukcję przenośnika, b) o zatarty krążnik przenośnika

W ramach testów wykonano serię pomiarów produktów wydzielanych podczas grzania taśm przenośnikowych. Testy wykonano dla:

- taśmy tkaninowo-gumowej trudno palnej dla górnictwa podziemnego 1200 22721 GTP EP 1250 4 2+2 L C2, cecha WUG GM-62/11,
- taśmy tkaninowo-gumowej trudno zapalnej ogólnego przeznaczenia 1000 14890 EP 1250 4 4+2 LK 3 A, certyfikat bezpieczeństwa Nr 92/09,

- taśmy tkaninowo-gumowej zwykłej ogólnego przeznaczenia 1400 14890 EP 800 4 6+2 D1, certyfikat bezpieczeństwa Nr 6/10.
- taśmy górniczej PCV produkcji hiszpańskiej (próbka z kopalni St. Nicolas).

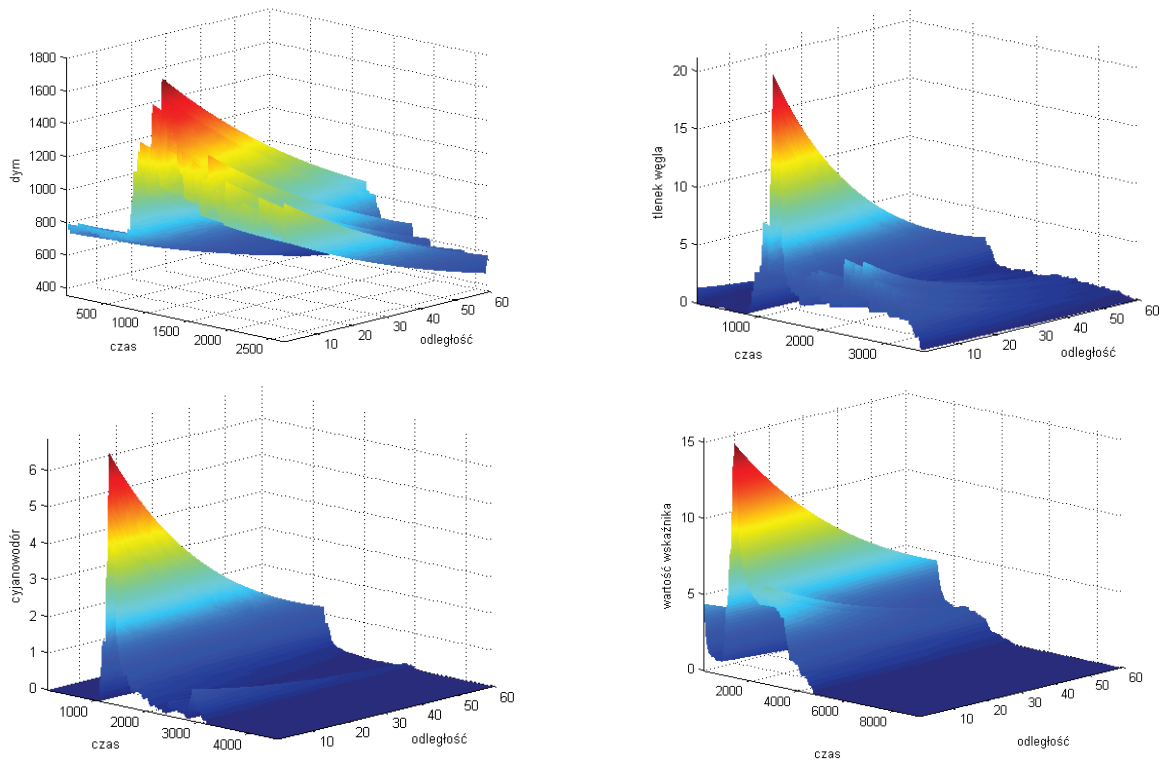
Wykonano cztery testy zapalenia taśm (rys. 18) dla stałej prędkości przepływu powietrza wynoszącej $\sim 1 \text{ m/s}$. Po każdym teście wykonano przewietrzenie sztolni próbnej.



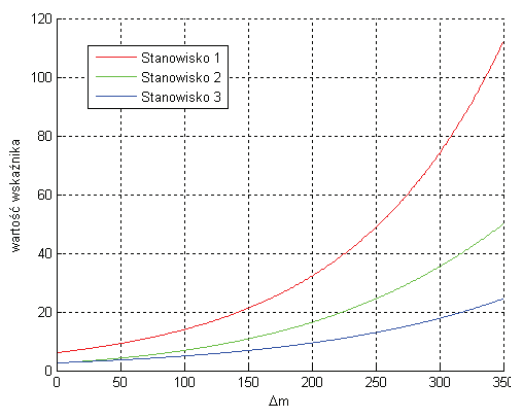
Rys. 17. Schemat przestrzenny wyrobiska CSRG w Bytomiu i stanowisko czujnika wielodetektorowego



Rys. 18. Test zagrzewania próbek taśm w sztolni CSRG Bytom



Rys. 19. Rozkład czasoprzestrzenny dymu, tlenku węgla, cyjanowodoru i wyznaczonego wskaźnika pożarowego w wyrobisku dla taśmy trudno palnej



Rys. 20. Rodzina charakterystyk zależności pomiędzy wartością maksymalną wskaźnika W_p' a ubytkiem masy próbki taśmy Δm dla trzech czujników DWP-1, zlokalizowanych w odległościach 3 m, 25 m i 60 m od źródła pożaru

Wszystkie pomiary wykonano, stosując ten sam układ otwarcia i zamknięcia tam, tak, aby główny prąd powietrza przechodził przez punkt symulacji pożaru taśmy (spalania próbek taśm).

Na rysunku 19 przedstawiono rozkłady przestrzenne i czasoprzestrzenne wyników pomiarowych detektorów i czujnika dymu oraz wyliczonego wskaźnika W_p' dla wyników uzyskanych podczas badań [12].

Przebiegi czasowe wskaźników pozwalają na wczesne, szybkie i pewne wykrywanie pożaru na podstawie wartości wskaźnika lub jego szybkości

przyrostu (pochodna). Na podstawie wartości rozkładów czasoprzestrzennych wskaźnika wyznaczono charakterystykę zależności pomiędzy wartością maksymalną wskaźnika W_p' a ubytkiem masy próbki taśmy Δm dla poszczególnych stanowisk badawczych. Na rysunku 20 przedstawiono rodzinę charakterystyk, na podstawie których można określić maksymalną odległość pomiędzy czujnikami do wykrywania pożaru przy określonym poziomie ostrzeżenia i alarmu wskaźnika pożarowego i ustalonej czułości (emisji masy próbki Δm).

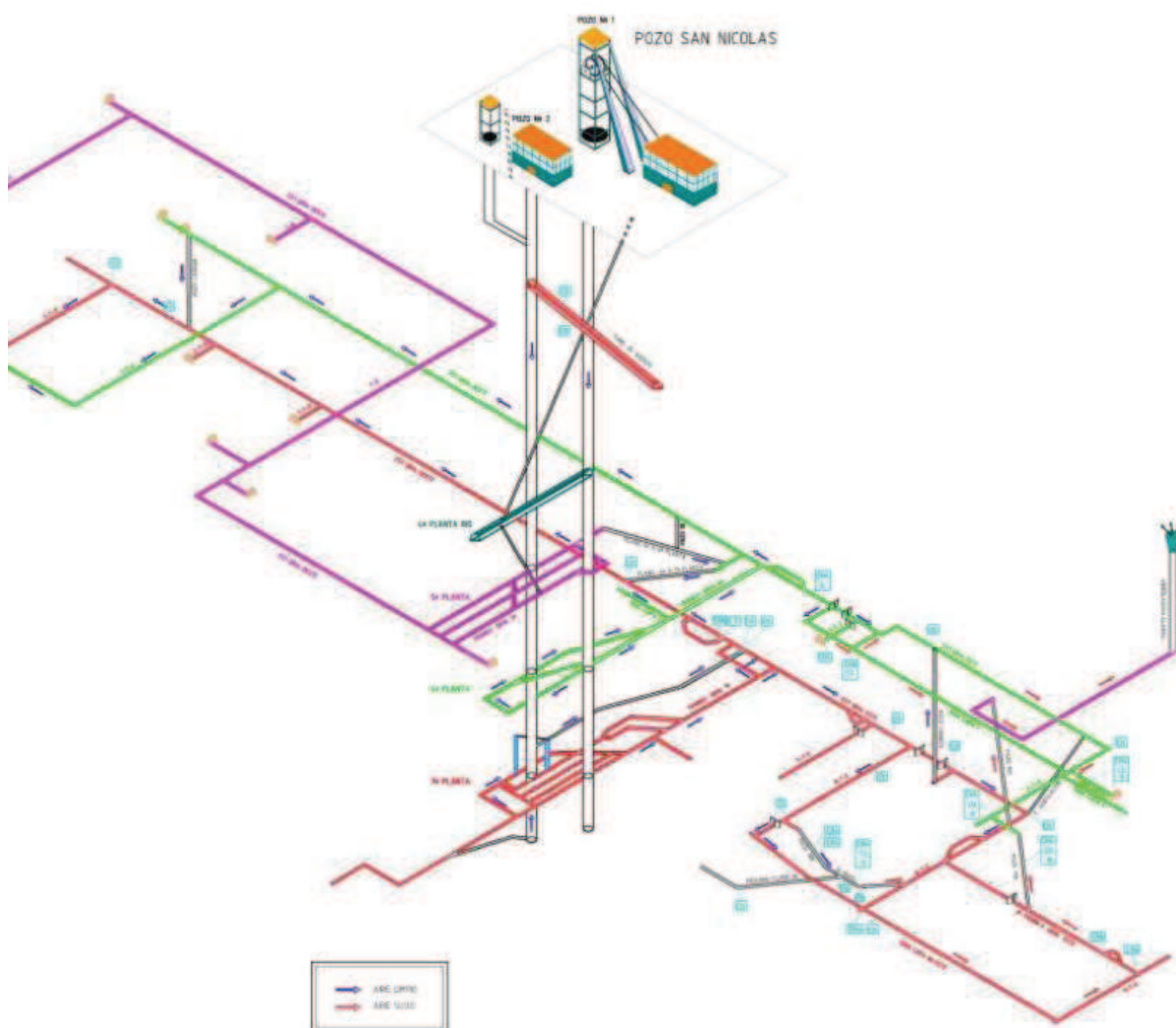
5.3.2. Badania w San Nicolas

Kopalnia San Nicolas rozpoczyna swoją działalność między 1855 i 1859 rokiem. Należała wówczas do francuskiej spółki Compagnie des Minière et Métallurgique Asturies. W tym samym roku przyłączyła się do Fabrica de Mieres, Guilhou Numa, która wchodzi w skład mienia kopalni i Coruías Mariana Nicole. W 1951 r. podjęto dodatkowe pogłębienie szybu i po pięciu latach wybudowano wieżę wyposażoną w urządzenia wydobywania i salę sprężarek.

Kopalnia posiada kilka ścian wydobywczych zlokalizowanych na trzech poziomach. Najniższym poziomem jest poziom 600 m ppm, na którym przeprowadzone zostały testy symulacji zacierania taśmy przENOŚNIKOWEJ (rys. 21).



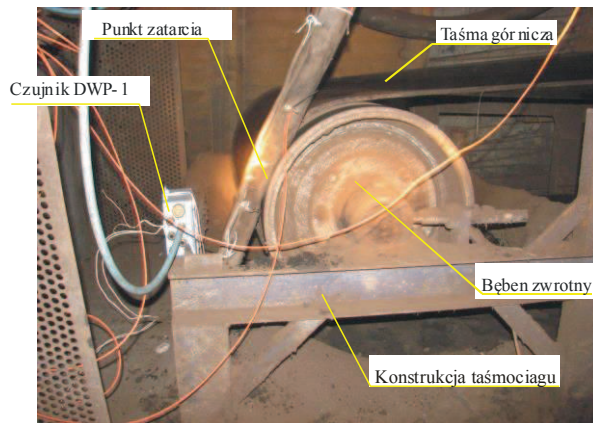
Rys. 21. Widok wyrobiska na końcu taśmociągu przENOŚNIKOWEJ, gdzie przeprowadzany był test zacierania taśmy



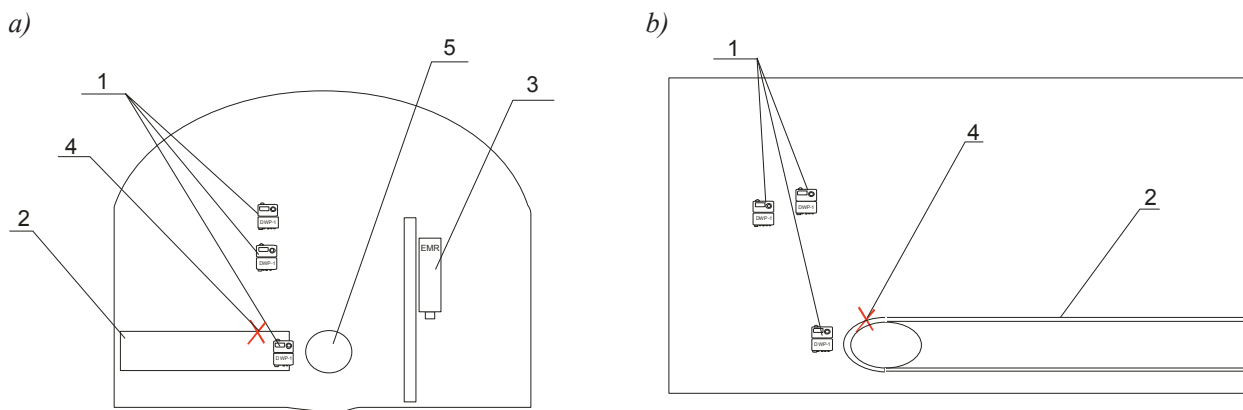
Rys. 22. Schemat podglądowy układu wentylacyjnego kopalni San Nicolas [14] (AITEMIN [14])

Do badań wykorzystano taśmę górnictwiczną produkcji hiszpańskiej z polichloru winylu. Taśma ta składa się z kilku warstw tkaniny przekładkowej, okładki oraz folii okładkowej, potocznie przyjmuje się nazwę

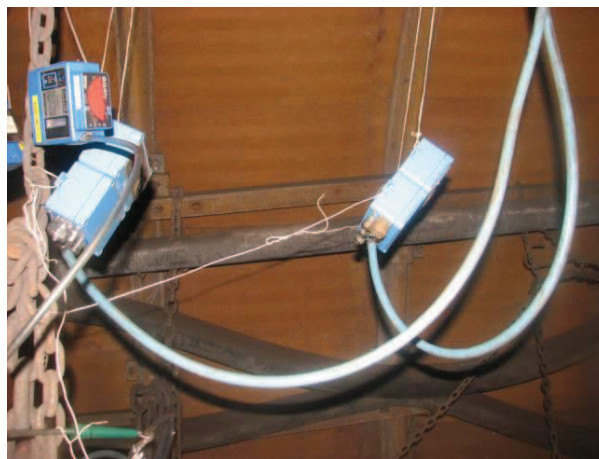
taśmy górnictwicznej PCV. Symulację zacierania taśmy przeprowadzono na bębnie zwrotnym przENOŚNIKA taśmowego na końcu wyrobiska doświeżanego powietrzem z lutniociągu (rys. 23).



Rys. 23. Metoda symulacji zatarcia bębna zwrotnego



Rys. 24. Schemat rozmieszczenia czujników w polu pożarowym dla: a) przekroju wyrobiska, b) wzdłuż wyrobiska



Rys. 25. Rozmieszczenie czujników nad taśmociągim przenośnikowym

Na rysunku 24 przedstawiono poglądowy schemat rozmieszczenia czujników DWP-1, gdzie:

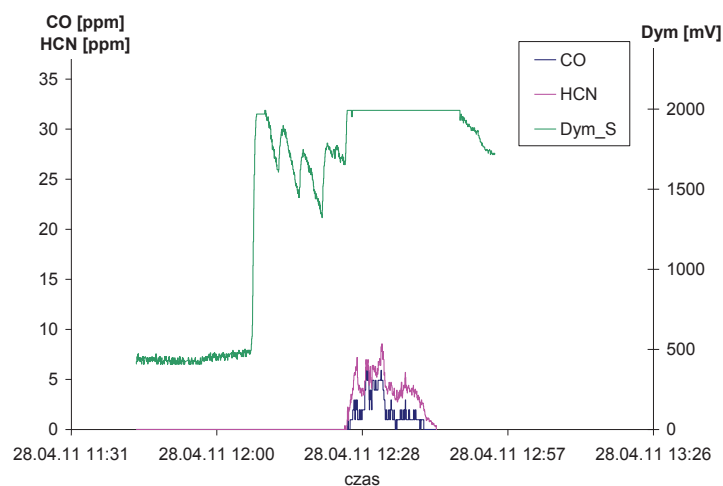
1. czujniki DWP-1,
2. przenośnik taśmowy,
3. układ odczytowy EMR-HS – stacja dołowa,
4. ognisko zatarcia taśmy (symulacja zatarcia),
5. lutniociąg,

a na rysunku 25 – podczas badań w kopalni St. Nicolas w Mieres (Hiszpania).

Czujniki DWP-1 podłączone zostały do stacji nadrzędnej EMR-HS za pomocą protokołu transmisyjnego RS485, co pozwoliło na rejestrowanie pomiarów w centrali systemu na powierzchni kopalni w komputerze systemu (rys. 26) z oprogramowaniem SCADA SISCO II.



Rys. 26. Podłączenie czujnika DWP-1 do stacji nadrzędnej MAESTRA (EMR-II [14])



Rys. 27. Sygnały wyjściowe z czujnika DWP-1 dla badania taśmy prod. hiszpańskiej podczas symulacji zacierania taśmy w kopalni San Nicolas [14]

Ze względu na brak możliwości wykonania testu zacierania taśmy w większym zakresie, wykonano jeden test. Sprawdzone pojedyncze sygnały z detektorów oraz wskaźnik pożarowy dla oszacowania stopnia zagrożenia w momencie pojawienia się produktów zatarcia taśmy.

Wyniki testów zacierania taśmy na bębnie zwrotnym przedstawiono na rysunku 27.

Podczas testów zacierania taśmy widoczny był dym, który rozrzedzał się z powietrzem wentylacyjnym. Prędkość przepływu powietrza w korytarzu wynosiła około 1 m/s przy przekroju wyrobiska 3,140×4,140 m, co daje około 11 m² powierzchni przekroju.

Produkty gazowe pojawiły się dopiero w końcowej fazie przetarcia taśmy.

6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wybrane wyniki projektu europejskiego EDAFFIC [14]. W projekcie uczestniczyło dziewięciu partnerów z Unii Europejskiej:

- Asociación para la Investigación y el Desarrollo Industrial de los Recursos Naturales AITEMIN (Hiszpania),
- Centrum Badan i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o.o. CBiDGP (Polska),
- Deutsche Montan Technologie GmbH DMT (Niemcy),
- HEJNY Consulting (Niemcy),
- Instytut Technik Innowacyjnych EMAG (Polska),
- Hulleras del Norte SA HUNOSA (Hiszpania),
- Politechnika Śląska w Gliwicach wydział Górnictwa i Geologii (Polska),
- Mines Rescue Service Ltd. MRSL (Wielka Brytania),
- UK Coal Mining Ltd. UKCOAL (Wielka Brytania).

Współpraca pozwoliła na rozwinięcie systemów kontrolno-pomiarowych, pracujących w kopalniach węglowych, o nowe układy detekcji wzrostu temperatury konstrukcji taśmociągu oraz opracowanie czujnika wielodetektorowego wczesnego wykrywania zagrożenia pożarowego przenośnika taśmowego.

Wspólne badania pozwoliły na integrację opracowanych urządzeń w systemach monitorowania oraz pokazały celowość podjętych prac nad zabezpieczeniem rejonów przed inicjacją pożaru.

W artykule przedstawiono następujące wyniki prac projektu:

- wyznaczenie najlepszego punktu pomiarowego przyrostu temperatury na konstrukcji taśmociągu dla czujnika CPT,
- opracowanie nowego czujnika wieloparametrowego DWP-1, który w połączeniu z czujnikiem dymu MCD-1 i czujnikiem przyrostu temperatury CPT kontroluje zabezpieczony rejon przed wystąpieniem pożaru
- określenie stosunku odległości kamer termowizyjnych dla poprawnej detekcji termicznej przenośnika taśmowego,
- zastosowanie bezprzewodowej transmisji detekcji temperatury poprzez sensory ułożone wzdłuż trasy przenośnika taśmowego.

Opisano szczegółową strukturę czujnika wielodetektorowego wraz z systemami, dla których został on opracowany (SMP-NT i RELIA). Dodatkowo opracowano wskaźnik pożarowy W_p , który umożliwia wykrywanie pożaru z wysoką czułością przy minimalizacji fałszów alarmów. Wyznaczone przebiegi produktów źródła podczas badań zagrzewania taśm oraz

wynikające z tego rozkłady wskaźnika pożarowego wykazały, że na ich podstawie można określić:

- zakres zmian wskaźnika dla warunków normalnych,
- zakres zmian wskaźnika w stanie rozwoju pożaru,
- wartość wskaźnika w stanie pożaru,
- maksymalną odległość pomiędzy stanowiskami pomiarowymi systemu.

Artykuł jest podsumowaniem projektu europejskiego wczesnego wykrywania zagrożeń pożarami taśm przenośnikowych o akronimie EDAFFIC nr umowy RFCR-CT-2008-00002.

Literatura

1. *Wachowicz J.*: Palność taśm przenośnikowych jako czynnik zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego. Prace Naukowe GIG nr 843, Katowice 2000.
2. *Wachowicz J.*: Zagrożenia pożarowe w kopalniach powodowane stosowaniem materiałów organicznych. GIG, Katowice 2010.
3. *Wachowicz J., Wypior K.*, 2003: Samonagrzewanie produktów ścierania okładek gumowych taśm przenośnikowych. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko Kwartalnik 4/2003.
4. *Koczwarą J.*: Problemy bezpiecznej eksploatacji przenośników taśmowych, Cuprum 3(56)/2010 Wrocław 2010 str. 59-70.
5. *Szczygielska M., Kłosiński J., Malachowski M.*, 2010: Badania temperatury konstrukcji przenośnika taśmowego w stanach awaryjnych. Konferencja „EMTECH”, Ustroń 05.2010.
6. *Szczygielska M., Mróz J., Malachowski M., Dyduch J.*, 2010: Monitorowanie produktów rozkładu termicznego taśm przenośnikowych. XVIII Międzynarodowe Sympozjum „Nowe Rozwiązania w Transporcie Taśmowym” Zakopane 6 – 7.05.2010.
7. Dokumentacja konstrukcyjna czujnika wieloparametrowego DWP-1 ver.x – dokumentacja EMAG – projekt EDAFFIC – Katowice 2010 – niepublikowane.
8. Dokumentacja konstrukcyjna oraz badania laboratoryjne czujnika CPT – dokumentacja EMAG – projekt EDAFFIC – Katowice 2010 – niepublikowane.
9. Dokumentacja mikroprocesorowego czujnika dymu MCD-1 – dokumentacja EMAG – Katowice 2005 – niepublikowane.
10. *Mróz J., Broja A., Malachowski M.*: Czujnik do wykrywania źródeł pożarów przenośników taśmowych, Cuprum 3(56)/2010 Wrocław 2010 str. 77-90.
11. *Mróz J., Szczygielska M., Trenczek S.*: Badania parametrów charakterystycznych dla źródła powstającego pożaru przenośnika taśmowego, Cuprum 3(56)/2010 Wrocław 2010 str. 91-108.
12. Sprawozdanie z badań czujnika wieloparametrowego DWP-1 ver.x – dokumentacja EMAG – projekt EDAFFIC – Katowice 2010 – niepublikowane.
13. Materiały informacyjne instytutu EMAG, strona internetowa: <http://www.emag.pl/plikifck/file/produkty/ZWB/SMP-NT-A.pdf>, marzec 2011r.
14. Reserch Programme of the Research Fund for Coal and Steel Final Raport: Early Detection and Fighting of Fires in Belt Conveyor contract no: RFCR-CT-2008-00002.
15. Materiały informacyjne WUG, strona internetowe www.wug.gov.pl. Informacja nr 12/2012/EW z dnia 22.02.2012 r.
16. Materiały informacyjne WUG, strona internetowe www.wug.gov.pl. Informacja nr 13/2012/EW z dnia 22.02.2012 r.
17. *Felka D., Broja A.*: Analiza zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego na trasie przenośnika taśmowego, konferencja EMTECH, Szczyrk-Biła 2012.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów