

dr inż. Leszek Kasprzyczak  
dr inż. Stanisław Trenczek  
Instytut Technik Innowacyjnych, Katowice

## **GÓRNICZY MOBILNY ROBOT INSPEKCYJNY DO MONITOROWANIA STREF ZAGROŻONYCH WYBUCHEM**

*Omówiono założenia funkcjonalne pierwszego na świecie mobilnego robota górniczego przeznaczonego do inspekcji stref zagrożonych wybuchem. Podano koncepcje rozwiązań technicznych spełniające normy zharmonizowane z dyrektywą ATEX 94/9/WE dotyczące budowy przeciwwybuchowej. Przedstawiono wyniki prób funkcjonalnych prototypu robota.*

## **MINING INSPECTIVE MOBILE ROBOT FOR MONITORING HAZARDOUS EXPLOSIVE ZONES**

*The functional assumptions of the first all over the world mining mobile robot for inspections hazardous explosive zones were described. Solutions of technical concepts were given according harmonized standards with the ATEX 94/9/EU directive concerning explosion proof techniques. Results of functional tests of the robot prototype were presented.*

### **1. WSTĘP**

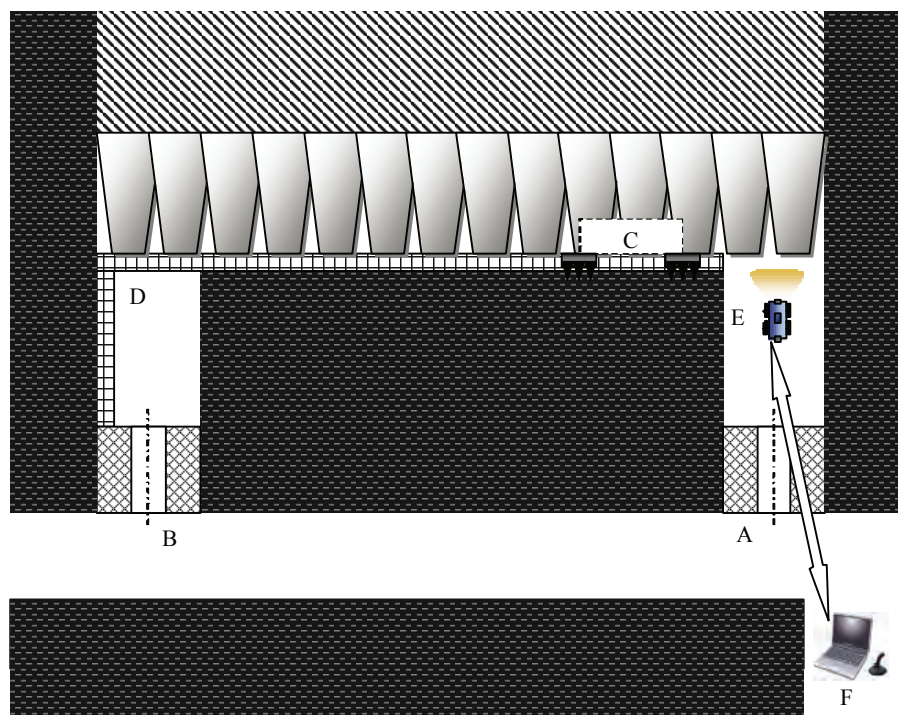
Podczas eksploatacji pokładów węgla zdarza się, że dochodzi do takiego wzrostu zagrożenia pożarami endogenicznymi, że rejon ściany należy izolować – albo w ramach działań zapobiegawczych, albo na zasadzie akcji ratowniczej, jeśli przekroczone zostaną graniczne parametry wczesnego wykrywania po żarów [3]. Ma to na celu obniżenie w izolowanych wyrobiskach stężenia tlenu, co ułatwia skuteczne zastosowanie gazów inertnych do zmniejszenia poziomu samozagrzewania lub do gaszenia po żaru (jeśli wystąpił). Następnym etapem izolacji jest zazwyczaj długotrwały przestój, co naraża kopalnię na straty finansowe.

To, czy zagrożenie pożarowe zostało zlikwidowane, albo czy po żar został ugaszony, stwierdza się na podstawie analizy prób gazów, które zazwyczaj są pobierane przede wszystkim z tam przeciwwybuchowych izolujących rejon. Tylko w nielicznych przypadkach istnieje możliwość pobierania prób gazów z wnętrza rejonu, a jeszcze rzadziej z bezpośrednio sąsiedztwa zrobów, czyli z okolic ściany.

Taki sposób ma kilka istotnych wad. Ponieważ analizowany gaz pochodzi z okolicy tamy, a nie z obrębu ściany, to nie ma pewności co do poziomu rozwoju sytuacji w rejonie najbliższym miejscu samozagrzewania węgla lub po żaru. Ponadto, przy minimalnym ruchu powietrza w otaczanym rejonie może okazać się, że zagrożenie lub po żar dawno zostały zlikwidowane, a wyniki pomiarów z tam izolacyjnych tego nie wykazywały. Ze względu na zbyt duże niebezpieczeństwo zatrucia lub/i wybuchu, nie można dokonać rozpoznania przy pomocy zastępu ratowników. Zatem wiedzy o stanie zagrożenia czerpanej z miejsca możliwie najbliższego źródła zagrożenia lub pożaru trudno nie docenić.

## 2. FUNKCJONALNOŚĆ MOBILNEGO ROBOTA

Jak dotąd, brak jest odpowiednich narzędzi, czy też środków do analizy składu mieszaniny gazowej i innych danych pochodzących z wnętrza takiego odizolowanego rejonu. Chcąc ten problem rozwiązać, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, przy współpracy z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów PIAP, podjęli się zbudowania prototypu robota górniczego przeznaczonego do badania atmosfery i stanu wyrobiska, w którym występują nieznane warunki środowiskowe. Po wprowadzeniu go w rejon otamowany (rys. 1), ma on przekazywać obraz oraz informacje o wartościach stężeń gazów, temperaturze i wilgotności, a następnie transmitować je do stacji operatora. Dzięki temu można będzie szybciej i trafniej ocenić panujące w wyrobisku warunki i podjąć decyzje o dalszych czynnościach związanych z wykluczonym wyrobiskiem.



Rys. 1. Schemat poglądowy otamowanego rejonu ściany monitorowanej robotem  
A/B – przeciwwybuchowa tama wlotowa/wylotowa z przepustem tamowym o średnicy 80 cm, C – kombajn,  
D – przenośniki, E – robot inspekcyjny, F – konsola operatora

Projekt, w ramach którego było to realizowane, miał status projektu rozwojowego, a finansowany był przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego [1]. Składał się z 14-tu etapów i trwał 30 miesięcy.

Górnicy Mobilny Robot Inspekcyjny GMRI – bo taka jest jego właściwa nazwa – zanim został poddany badaniom laboratoryjnym i konstruktorskim, tworzony był pod kątem zgodności z dyrektywami WE, dotyczącymi urządzeń pracujących w strefach zagrożonych wybuchem (dyrektywa ATEX 94/9/WE) i kompatybilności elektromagnetycznej (dyrektywa 2004/108/WE) w oparciu o harmonogram realizowany przez współpracujące jednostki.

Najważniejszymi funkcjami robota, z punktu widzenia przeznaczenia, jest pomiar parametrów atmosfery i wizualizacja stanu wyrobiska, a następnie transmitowanie danych

do konsoli operatora. Istotne są również właściwości trakcyjne robota umożliwiające pokonywanie różnych przeszkód (tj. progi, woda, błoto) w trakcie dojazdu do miejsca docelowego, którego stan zazwyczaj odbiega od normalnego stanu wyrobiska. Dlatego też przyjęto szereg kryteriów i funkcji, które robot powinien spełniać [4]. Do najważniejszych z nich należą:

- w zakresie konstruktorskim:

- gabaryty robota, umożliwiające przetransportowanie go przez przepust tamowy o średnicy 0,8 m izolacyjnej tamy przeciwybuchowej,
- wykonanie zewnętrznych części platformy mobilnej, obudowy i mechanizmów napędowych robota z materiałów o ograniczonej zawartości stopów metali lekkich i cynku, a także tworzyw sztucznych,
- zapewnienie stopnia ochrony obudowy przed wnikaniem pyłu i wody, co najmniej IP54,
- zastosowanie iskrobezpiecznych napędów,

- w zakresie funkcjonalnym:

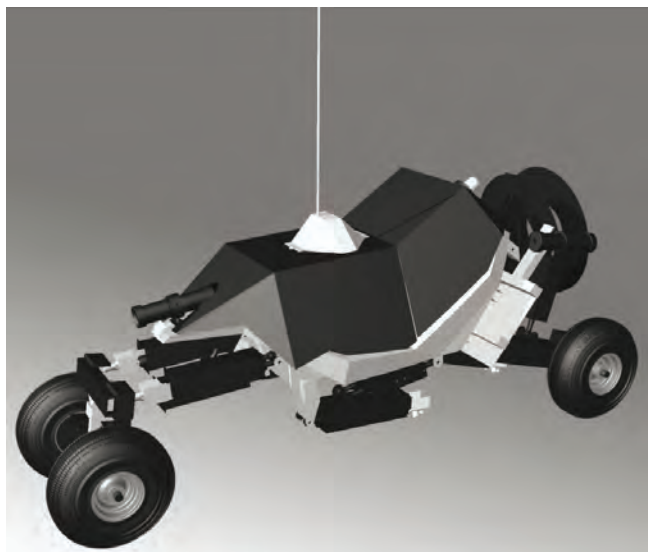
- minimalny zasięg robota 500 m,
- zdolność do pokonywania: pochyłości wzdłużnych i bocznych o nachyleniu co najmniej 30°, progów o wysokości co najmniej 0,2 m,
- możliwość przejazdu przez miejsca zawadzone o głębokości co najmniej 0,1 m,
- praca w temperaturze od 0 °C do +60 °C i wilgotności względnej bliskiej 100 %,
- możliwość obserwacji trasy przejazdu kamerą z transmisją obrazu do stanowiska operatora,
- wykonywanie pomiarów ciągłych lub na żądanie stężeń: CH<sub>4</sub> – w zakresie: 0 ... 100 %, CO – w zakresie 0 ... 1000 ppm, CO<sub>2</sub> – w zakresie 0 ... 5 %, O<sub>2</sub> – w zakresie 0 ... 25 %, temperatury – w zakresie co najmniej 0 °C ... +60 °C, wilgotności względnej – bliskiej 100 %,
- wykonywanie pomiaru metanu na wysokości przynajmniej 1 m powyżej platformy robota,
- wykonywanie cyklicznych pomiarów (z miejsca docelowego) przez okres nie krótszy niż 3 miesiące i przesyłanie ich do konsoli operatora,
- możliwość przesyłania obrazów na polecenie operatora,
- archiwizacja wyników pomiarów (zawierających dodatkowo dane o: dacie, godzinie i miejscu pomiaru, w tym odległość od tamy) oraz obrazów z kamer w pamięci konsoli operatora.

### 3. KONCEPCJE ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH

Zaprojektowanie i wykonanie mobilnej platformy, osłon, obudów i wysięgnika robota spoczywało na Instytucie PIAP. Przy ich zaprojektowaniu i wykonaniu uwzględniano zastosowanie takich materiałów i rozwiązań, które zapewniają:

- zastosowanie właściwej budowy przeciwybuchowej,
- zastosowanie materiałów o ograniczonej zawartości stopów metali lekkich, ze względu na możliwość wystąpienia iskrzenia mechanicznego w kontakcie z zardzewiałą konstrukcją,

- ograniczenie stosowania tworzyw sztucznych, ze względu na możliwość przeskoku iskry elektrycznej spowodowanej nagromadzoną ładunkiem elektrostatycznym,
- zachowanie odstępów izolacyjnych,
- wymaganie w odniesieniu do maksymalnej temperatury powierzchni, nieprzekraczającej 150°C (ze względu na zapłon osiadających warstw pyłu węglowego),
- zastosowanie odpowiednich wpustów kablowych, zgodnych z odpowiednimi normami ujętymi w dokumentacji [4]. Zrodziła się więc koncepcja przedstawiona na rys. 2.



Rys. 2. Projekt górniczego robota GMRI (rys. z dokumentacji opracowanej w PIAP)

Planowano zastosowanie napędu opartego na liniowych silnikach pneumatycznych (siłowniki), ze względu na to, że nie ma na rynku silników elektrycznych kategorii M1.

W PIAP zaprojektowano i wykonano odpowiedni układ napędowy robota bazujący na napędach pneumatycznych liniowych sprzęgniętych z mechanizmami trakcyjnymi oraz hamulcami, który umożliwił poruszanie się robota w założonym środowisku. Zapas sprężonego gazu napędowego (azotu), w butli, umieszczono w korpusie robota. Do sterowania silnikami zastosowano iskrobezpieczne rozdzielacze pneumatyczne.

Po dokonaniu bilansu energetycznego i masowego podzespołów robota oraz mając na uwadze kilkugodzinny do-

jazd i 3-miesięczne działanie robota w strefie zdecydowano się zastosować dwa rodzaje akumulatorów – odrębnie dla każdej z tych funkcji. Zastosowano więc akumulator litowo-jonowy w konstrukcji radiatorowej – zdolny do pracy w temperaturze otoczenia do +60 °C – dla zasilania napędów elektropneumatycznych, kamer i oświetlenia. Z kolei dla zasilania czujników do pomiaru parametrów atmosfery kopalnianej zastosowano akumulator, który jest ciągle ładowany z przewodu rozwijanego za robotem.

Akumulator ten umieszczono w konstrukcji radiatorowej i zalano elektroizolacyjną zalewą termoprzewodzącą [2] w celu obniżenia temperatury obudowy ogniwa w przypadku zwarcia ogniwa.



Rys. 3. Kamera OKO-1R

W celu obserwacji trasy przejazdu i sterowania robotem zastosowano dwie kamery monochromatyczne z oświetleniem w paśmie światła widzialnego. W danej chwili obraz tylko z jednej z kamer transmitowany jest do stanowiska operatora. Zastosowano jedną kamerę z przodu i jedną z tyłu robota. Kamery i oświetlenie są zdalnie zarządzane w celu oszczędzania energii elektrycznej. Zastosowano kamery OKO-1R (rys. 3) opracowane w Instytucie EMAG, charakteryzujące się między innymi takimi parametrami jak: szeroki kąt obiektywu – 92°, niewielkie wymagania minimalnego oświetlenia – 0,1 lux, stopień ochrony obudowy IP65 oraz cecha budowy przeciwybuchowej Ex I M1 Ex ia I.

Do oświetlenia zastosowano diodę LED umieszczoną w obudowie typowej lampy nahełmnej, która ma dopuszczenie do stosowania w górnictwie i charakteryzuje się właściwą ochroną przed wnikaniem wody i pyłu oraz wykonana jest z tworzyw nieelektryzujących się.

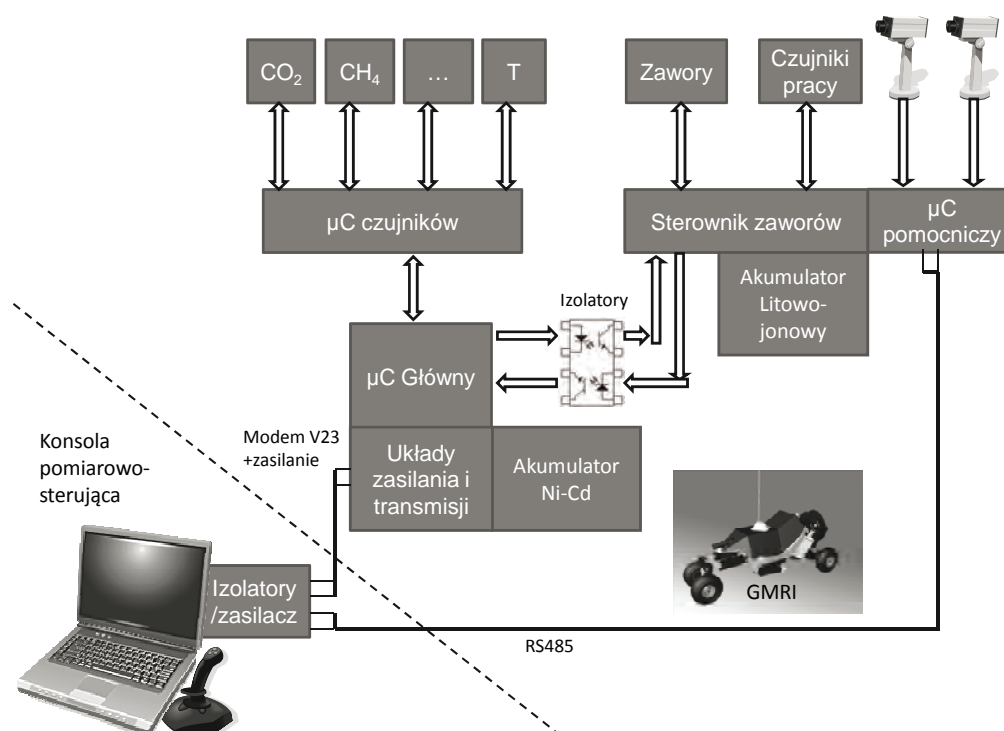
W tabeli 1 zebrano mierzone parametry atmosfery kopalnianej, z podaniem zakresów pomiarowych czujników. Poszczególne czujniki dobrano w taki sposób, aby zapewniały poprawne działanie w atmosferach niskotlenowych o dużej wilgotności i temperaturze. Szczegółowy opis układu metrologicznego oraz zasady działania poszczególnych czujników przedstawiono w pracy [5].

Tabela 1. Zakresy pomiarowe czujników robota

Badany gaz	Zakres pomiarowy
Metan CH <sub>4</sub>	0 ... 100 %
Dwutlenek węgla CO <sub>2</sub>	0 ... 5 %
Tlenek węgla CO	0 ... 1000 ppm
Tlen O <sub>2</sub>	0 ... 25 %
Temperatura	0 ... +60 °C
Wilgotność	0 ... 100 %

Z uwagi na przewidywaną pracę robota w środowisku o bardzo dużej wilgotności – przekraczającej zwykle 95 % – opracowano układ osuszania badanej mieszaniny gazowej przed podaniem jej na czujniki. Odczyt wyników pomiarowych oraz kalibracja czujników jest możliwa przy użyciu konsoli pomiarowo-sterującej operatora.

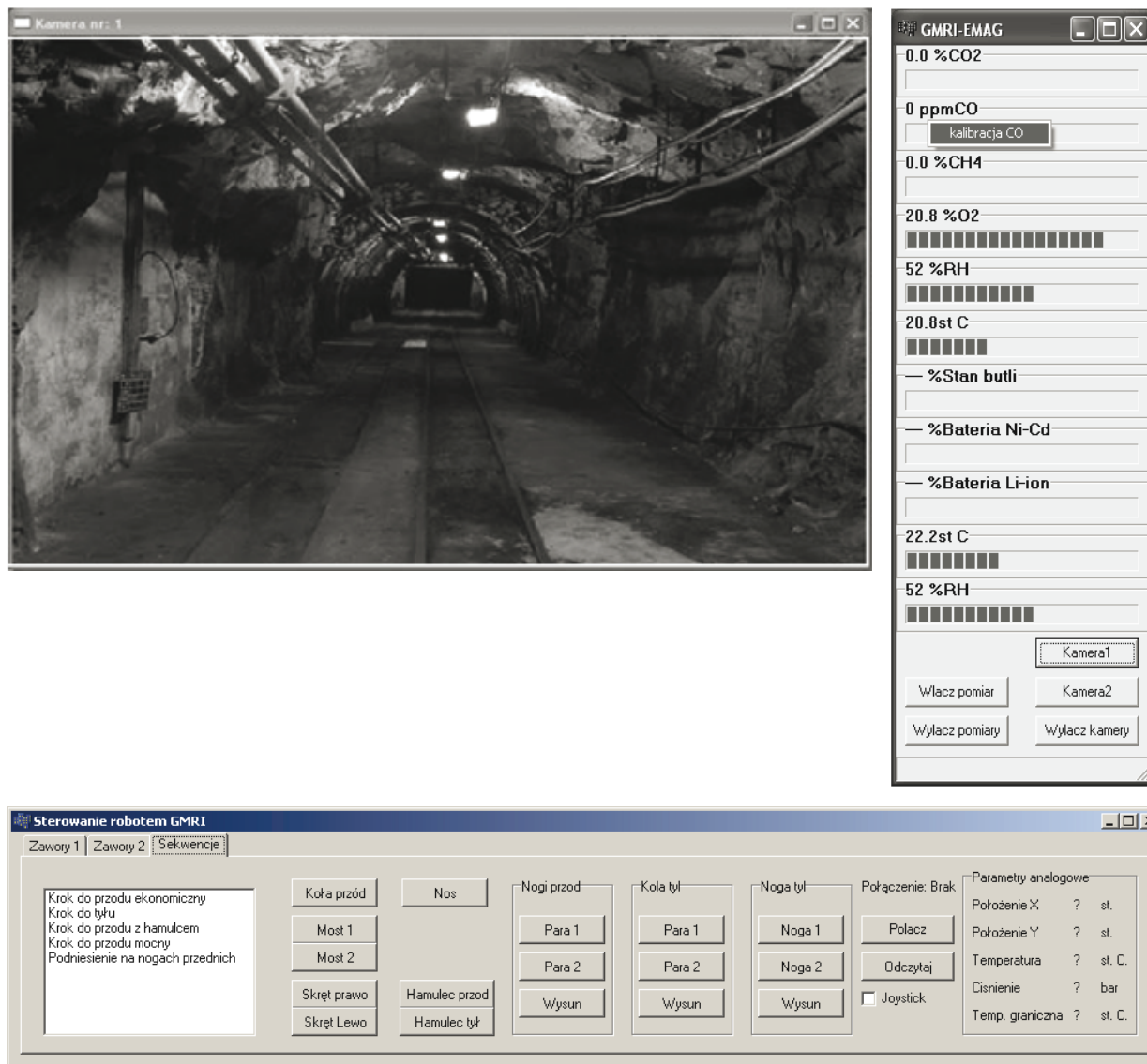
W czasie komunikacji z robotem zapewnione jest przesyłanie obrazu z kamer, rozkazów sterujących, a także danych pomiarowych i statusowych z czujników parametrów atmosfery i ruchu robota oraz informacji o stanie naładowania baterii i butli (rys. 4).



Rys. 4. Schemat transmisji danych między podzespołami robota i konsolą operatora

W konsoli sterującej zastosowano sterownik o budowie wzmocnionej i ochronie przed wnikaniem pyłu i wody, z dużą mocą obliczeniową oraz ekran z panelem dotykowym. Ponadto sterować robotem można przy użyciu myszki lub joysticka.

W konsoli znajduje się też program do sterowania robotem i wizualizacji wyrobiska. Program komputerowy z różnicowaniem takich podstawowych funkcji programu, jak: funkcje sterujące robota, załączanie kamer (i jednocześnie oświetlenia), wizualizacja obrazów z kamer (z jednej na raz), wyzwalanie pomiarów i ich zapisu, wizualizacja parametrów atmosfery wyrobiska, czasu, stanu baterii i butli; przedstawiono na rys. 5.



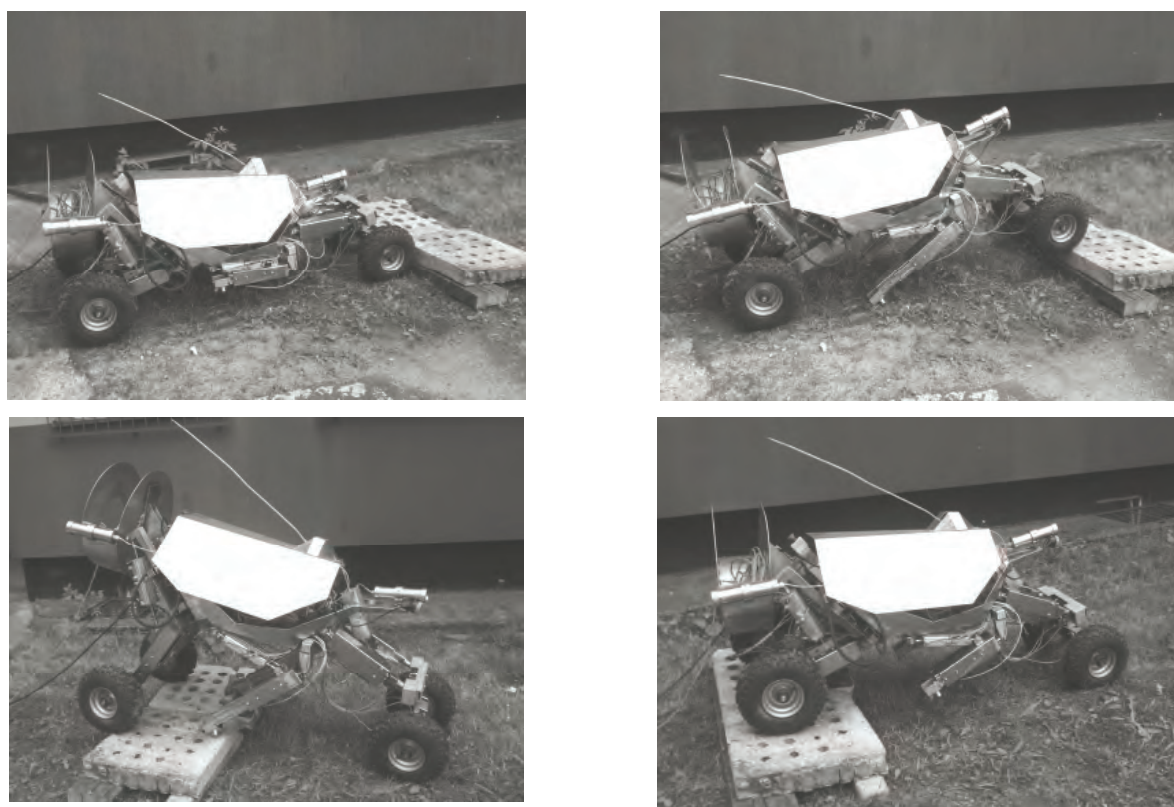
Rys. 5. Oprogramowanie do obsługi robota GMRI

#### 4. PRÓBY FUNKCJONALNE

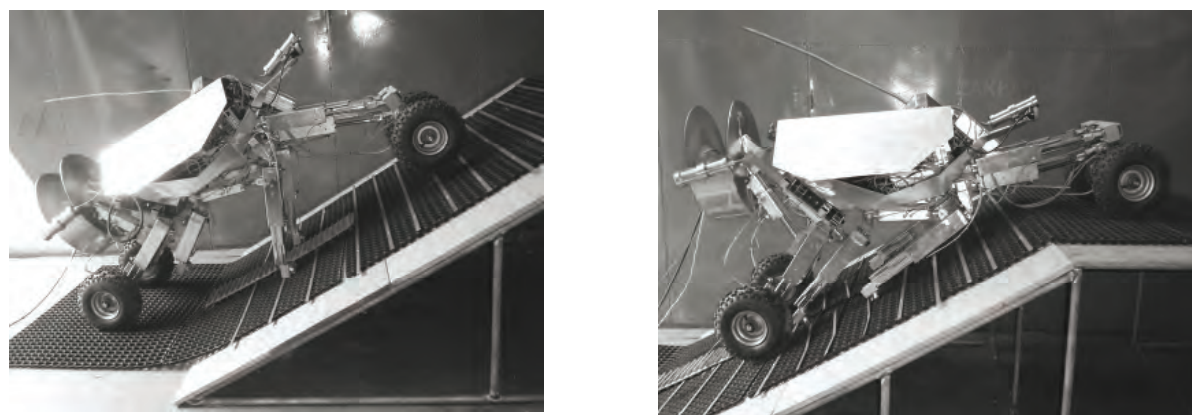
Pierwsze próby funkcjonalności robota przeprowadzono jeszcze na jego modelu, którego kształt odbiegał nieco od wizji przedstawionej w koncepcji (rys. 2). To pozwoliło dostrzec niedociągnięcia w zakresie możliwości trakcyjnych. Z kolei w czasie pierwszych badań pro-

totopu sprawdzano wyniki dokonanych poprawek oraz jego zdolności do realizacji pomiarów i transmisji danych [5].

Badania trakcyjne robota wyposażonego we wszystkie podzespoły składowe (w tym napełnioną butlę z azotem), w których uczestniczyli realizatorzy obu instytutów badawczych, prowadzono na terenie ITI EMAG. Poniżej pokazano fazy pokonywania przeszkody o wysokości 20 cm (rys. 6), fazy wjazdu robota na wzdłużną rampę o nachyleniu  $30^\circ$  (rys. 7) oraz przejazd przez rampę boczną o nachyleniu  $30^\circ$  (rys. 8).



Rys. 6. Fazy pokonywania przeszkody o wysokości 20 cm



Rys. 7. Fazy wjazdu na wzdłużną rampę o nachyleniu  $30^\circ$



Rys. 8. Przejazd przez boczną rampę o nachyleniu  $30^\circ$

Sprawdzono też możliwość przetransportowania robota przez przepust tunelowy o średnicy 800 mm (rys. 9), przy czym wymagania to wcześniejsze zdekontaminowanie butli z azotem z uwagi na jej zawór, a także poluzowanie mocowań tylnej płyty korpusu (w tym celu konstruktorzy PIAP opracowali mechanizm zsuwania tylnych kół robota).



Rys. 9. Transport robota przez lutnię o średnicy 800 mm

Podczas badań trakcyjnych zleconych Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A., prototyp robota był badany w rzeczywistym wyrobisku górniczym w Kopalni Węgla Kamiennego Bobrek-Centrum na poziomie 726 m [6]. Przejazd przez miejsce zawadzone o głębokości 20 cm (przekraczające założenia funkcjonalne o 100 %) przedstawiono na rys. 10.





Rys. 10. Przejazd robota w wyrobisku górniczym przez miejsce zawadnione o głębokości ok. 20 cm

## 5. PODSUMOWANIE

Projekt budowy mobilnego robota inspekcyjnego jest istotny dla górnictwa, z uwagi na możliwość wykorzystania go do oceny poziomu zagrożenia w miejscu możliwie najbliższym źródła oraz do oceny stanu wyrobiska, co umożliwi podjęcie szybszej i trafniejszej decyzji o dalszych działaniach związanych z wyłączonym rejonem ściany.

Budowa mobilnego robota inspekcyjnego przeznaczonego do stref zagrożonych wybuchem jest zadaniem bardzo złożonym i trudnym. Projekt ten cechuje się dużą skalą innowacyjności. Powodzenie realizacji projektu zależy od spełnienia wymagań odpowiednich norm oraz przepisów z zakresu przeciwwybuchowości i kompatybilności elektromagnetycznej, a także nowatorskiego podejścia, które rozwiąże problemy wynikające z ograniczeń robota (np. gabarytów).

Pomyślny przebieg badań funkcjonalności robota pozwala mieć nadzieję, że po zakończeniu projektu dojdzie do wykonania ostatecznej wersji produktu, który będzie w gotowości do zastosowania w czasie akcji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Mobilny robot inspekcyjny przeznaczony do pracy w rejonach zagrożonych wybuchem. Projekt rozwojowy Nr 0137/R/T02/2008/04 (N R09 0025 04) finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego; Wykonawca Instytut EMAG, Podwykonawca Instytut PIAP, 2008–2010.
2. PN-EN 60079-18: Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Część 18: Konstrukcja, badanie i znakowanie elektrycznych urządzeń hermetyzowanych „m”. PKN, 2006.

3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 28.06.2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz. U. Nr 139, poz. 1169 z późn. zm.
4. Kasprzyczak L., Dzierżak P., Krzykawski D., Nalepa R., Trenczek S.: Opracowanie szczegółowych założeń funkcjonalnych i koncepcji rozwiązań technicznych. Dokumentacja etapu 1. pracy pt. Mobilny robot inspekcyjny przeznaczony do pracy w rejonach zagrożonych wybuchem. Centrum EMAG, Katowice 2008, niepublikowane.
5. Kasprzyczak L., Krzykawski D., Mirek G.: Pomiar stężeń trujących i wybuchowych gazów przy użyciu mobilnego robota górniczego w atmosferach niskotlenowych o dużej wilgotności. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej EMTECH 2009. Rawa Mazowiecka 10–13 maja 2009. Wyd. CEiAG EMAG, Katowice 2009.
6. Raport z badań trakcyjnych prototypu górniczego mobilnego robota inspekcyjnego GMRI, CSRG, Bytom, wrzesień 2010, str. 9.