

Mgr inż. Adam Andrzejuk  
Prof. Andrzej Maślowski  
Mgr inż. Piotr Szykarczyk  
Mgr inż. Mariusz Kozak  
Mgr inż. Tomasz Krakówka  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

## SR-10.INSPECTOR NOWA GENERACJA ROBOTÓW DO ZADAŃ SPECJALNYCH

*Robot interwencyjno-inspekcyjny SR-10 Inspector został opracowany w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów. Autorzy, po przedstawieniu ogólnej charakterystyki robota, opisali zastosowane tu nowatorskie rozwiązania i możliwości elektronicznych układów sterowania, które pozwalają twierdzić, że „Inspector” jest robotem pirotechnicznym nowej generacji. W artykule został zawarty opis oprogramowania oraz architektury robota i stanowiska operatorskiego, a także prognozy dalszego rozwoju robotów tego typu.*

### INSPECTOR SR-10 A NEW GENERATION OF SPECIAL TASK ROBOTS

*The surveillance mobile robot, SR-10 Inspector was designed and manufactured at the Industrial Research Institute for Automation and Measurements (PIAP). The authors, after presenting the general characteristics of the robot, describe modern solutions and possibilities of electronic control units that have been applied. This allows one to state that the "Inspector" is a new generation pyrotechnic robot. The article contains a description of the software and the architecture of the robot together with the operator's post as well as a forecast of further development of such robots.*

#### 1 WSTĘP

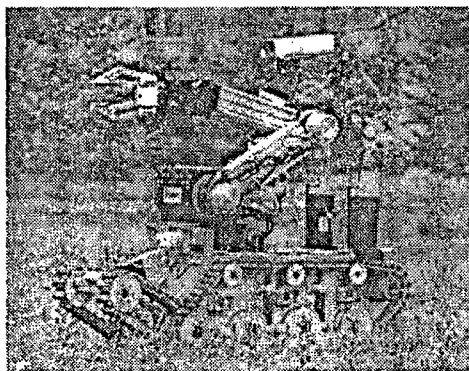
U progu XXI wieku coraz częściej człowiek jest zastępowany przez maszyny. Choć stopień robotyzacji jest nieporównywalnie mniejszy niż było to prognozowane w latach 70, to każdego roku pojawiają się nowe roboty usługowe. Od wielu lat na wyposażeniu Policji i Wojska wielu krajów znajdują się roboty pirotechniczne [1]. Są to urządzenia wyposażone w manipulator oraz kamery, dzięki czemu operator może zdalnie rozpoznać miejsce gdzie został podłożony ładunek wybuchowy, przenieść bombę oraz ją zneutralizować. Wykonanie tych czynności jest jednak niezmiernie trudne. Zazwyczaj operacja odbywa się w odległości uniemożliwiającej operatorowi bezpośrednią obserwację pola akcji, natomiast obraz z kamer obejmuje tylko niewielki fragment otoczenia i pozbawiony jest informacji przestrzennej (głównie stereo-wizyjne w robotach pirotechnicznych spotykane są bardzo rzadko). Zdolności manipulacyjne robota, nie mogą się także równać ze zdolnościami manualnymi człowieka. Mimo tych utrudnień przydatność robotów pirotechnicznych jest olbrzymia i niezaprzeczalna ze względu na to, że chronią one życie i zdrowie człowieka. Obserwacje te zrodziły u inżynierów z Zespołu Inteligentnych Systemów Mobilnych PIAP pomysł opracowania robota

do zadań specjalnych nowej generacji [2]. Projekt celowy NR 8 T11 A 009 96C/3033 p.t. "Mobilny robot interwencyjno-inspekcyjny" uzyskał dofinansowanie KBN i był realizowany przez autorów (w zakresie urządzeń elektronicznych, sterowania i oprogramowania) oraz Grupę Projektową OBN-PIAP (w zakresie konstrukcji mechanicznej i napędów).

## 2 CHARAKTERYSTYKA ROBOTA

Mobilny robot interwencyjno-inspekcyjny o nazwie SR-10 Inspector (Rys.1), jest zdalnie sterowanym urządzeniem przeznaczonym do zadań specjalnych. Sterowanie robota może odbywać się przez kabel lub drogą radiową. Odległość, na jaką jest możliwa komunikacja radiowa, zależy od rodzaju i ilości przeszkód znajdujących się pomiędzy robotem, a stanowiskiem operatora; wewnątrz budynków jest nie mniejsza niż 80 m, a na zewnątrz budynków wynosi ok. 1 km. Robot wyposażony jest w napęd gąsienicowy o zmiennej strukturze geometrycznej, dzięki czemu może poruszać się w trudnych warunkach terenowych, wewnątrz pomieszczeń, a także po schodach, z maksymalną prędkością ponad 1.6 Km/h. Manipulator o 6 stopniach swobody pozwala na podnoszenie przedmiotów o masie do 60 kg. Górne ramię manipulatora zakończone jest uniwersalnym złączem, które umożliwia mocowanie różnego typu wyposażenia specjalistycznego takiego jak strzelby, działka, wiertarki, urządzenia do prześwietlania promieniami Roentgena, itp. Manipulator ma budowę modułową, dzięki czemu możliwa jest zmiana jego konfiguracji. Zmiany mogą polegać na innym sposobie mocowania chwytaka, możliwości wyeliminowania osi przegubu lub zastosowania elementu dodatkowego (np. ramienia wysuwnego). System napędowy manipulatora został zabezpieczony sprzęgłami przeciążeniowymi, które minimalizują skutek odrzutu podczas wystrzału z działka lub strzelby oraz zmniejszają skutki wybuchu ładunku umieszczonego w chwytaku lub w jego pobliżu. Struktura kinematyczna manipulatora zapewnia stałą orientację obiektu umieszczonego w chwytaku, niezależnie od ruchu pozostałych ramion manipulatora.

Czas pracy robota przy zasilaniu z akumulatorów umieszczonych wewnątrz platformy mobilnej, wynosi od 2 do 8 godzin, zależnie od typu wykonywanych czynności. Do sterowania robota służy stanowisko operatorskie.



Rys.1. Robot SR-10 Inspector

### 3 PIERWSZY KROK W EWOLUCJI ROBOTÓW PIROTECHNICZNYCH

#### 3.1 Systemy sensoryczne robota

Robot SR-10, jako pierwszy robot pirotechniczny na świecie, został wyposażony w komputer pokładowy oraz szereg czujników. Czujniki te pozwalają mu na wykonywanie niektórych czynności samodzielnie, a także dostarczają operatorowi informacji istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa i precyzji realizacji akcji.

Wokół bazy mobilnej robota zostało rozmieszczonych 10 ultradźwiękowych czujników odległości (po trzy czujniki z lewej i prawej strony oraz po dwa z przodu i z tyłu robota), o zakresie pomiarowym 0.2 metra do 10 metrów. W osi obrotu gaśienicy przedniej, a także w każdej osi obrotu manipulatora, zostały osadzone indukcyjne czujniki położenia oraz dwustopniowe wyłączniki krańcowe. Z napędami gaśienic sprzężono czujniki położenia bazy mobilnej. W chwytaku znajduje się czujnik siły zacisku szczęk, natomiast w bazie mobilnej czujnik stanu naładowania akumulatorów oraz czujnik do rozpoznawania obecności kabla sterującego i wykrywania jego ewentualnego uszkodzenia.

Oprócz wymienionych czujników, które w większości są niespotykane w robotach pirotechnicznych aktualnie produkowanych na świecie, robot „Inspector” został wyposażony w cztery kamery kolorowe: jezdną - skierowaną do przodu (umieszczoną z przodu platformy mobilnej na ramie ruchomej gaśienicy przedniej), jezdną - skierowaną do tyłu (umieszczoną na obrotowej podstawie manipulatora), manipulacyjną (umieszczoną na chwytaku) oraz celowniczą (umieszczoną na górnym ramieniu manipulatora). Kamera ta jest wyposażona w obiektyw o zmiennej ogniskowej oraz ma możliwość pracy w trzech trybach: kolorowym, czarno-białym i w podczerwieni. Wszystkie kamery są zespolone z podwójnymi reflektorami halogenowymi umożliwiającymi pracę przy niedostatecznym oświetleniu lub w całkowitej ciemności.

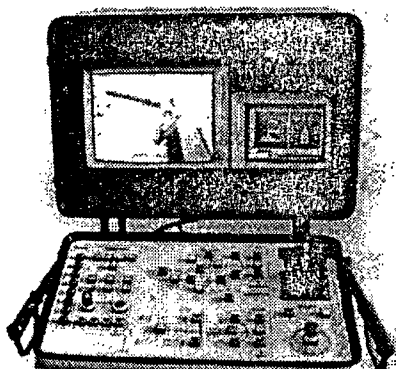
#### 3.2 Wizualizacja danych na stanowisku operatorskim

Stanowisko operatorskie (Rys. 2), oprócz konsoli sterowniczej, wyposażone zostało w 14-sto calowy monitor kolorowy do wizualizacji danych otrzymywanych z kamer, oraz 9-cio calowy monitor pomocniczy do wizualizacji danych otrzymywanych z czujników (Rys. 3). W centralnej części tego monitora znajduje się uproszczony rysunek robota mobilnego w widoku z boku oraz z góry. Dzięki takiej prezentacji danych możliwa jest obserwacja aktualnej konfiguracji wszystkich ramion manipulatora. Należy zaznaczyć, że większość akcji prowadzonych jest w warunkach uniemożliwiających operatorowi bezpośrednie obserwowanie robota, a kamery robota zorientowane są głównie na obserwację otoczenia oraz obiektu, nie zaś samego robota. Większość operacji wymaga dokładnej wiedzy na temat konfiguracji całego manipulatora, a nie tylko orientacji chwytaka względem obiektu, z tego względu graficzna interpretacja konfiguracji całego manipulatora jest niezwykle cenna.

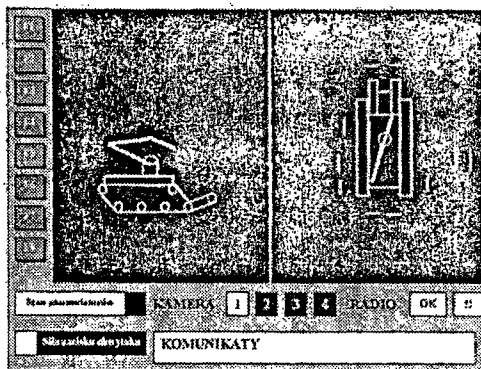
W widoku robota z góry, możliwe jest również określenie rozmieszczenia przeszkód wokół bazy mobilnej w promieniu 2,5 metra. Po wciśnięciu klawisza funkcyjnego F1 następuje automatyczne przeskalowanie rysunku tak, aby możliwa była obserwacja rozmieszczenia przeszkód w promieniu 10 metrów wokół robota. Dane te są szczególnie istotne ze względu na trudność oceny odległości w oparciu o obraz z kamer. Pomiar odległości stanowi dla operatora nie tylko punkt odniesienia względem obserwowanego przy pomocy kamery obiektu, ale również powoduje znaczne ułatwienie sterowania bazą mobilną. Gdy omijana przeszkoda przestaje być widziana przez kamerę jezdną skierowaną do przodu operator ma wrażenie, że przeszkoda została bezpiecznie ominięta. Dla upewnienia się, że tak jest w istocie, powinien on dokonać inspekcji przy użyciu pozostałych kamer. Operacja ta wymaga włączenia odpowiedniej kamery i sprawdzenia otoczenia wokół robota, co niestety zajmuje

cenny czas. Z tego powodu bieżąca informacja odnośnie odległości od przeszkód jest szczególnie ważna podczas operowania robotem między przeszkodami, w budynkach oraz podczas przejazdu przez drzwi.

Na monitorze pomocniczym wyświetlane są ponadto informacje o stanie naładowania akumulatorów, sile zacisku szczęk chwytaka, aktualnie aktywnej kamerze, stanie komunikacji radiowej, wykryciu obecności kabla (lub jego uszkodzenia) oraz stanie przełączników funkcyjnych.



Rys. 2 Stanowisko operatorskie



Rys. 3 Wizualizacja danych

### 3.3 Możliwości autonomii

Omawiając możliwości robota do wykonywania pewnych funkcji autonomicznych należy zaznaczyć, że specyfika zastosowań tego urządzenia wymaga przede wszystkim spełnienia odpowiednich procedur i wymogów dotyczących sprzętu dla wojska i Policji, a także bezwzględnego posłuszeństwa robota względem woli operatora. Na układy sterowania nie mogą więc zostać narzucone więzy w postaci trwałych zabezpieczeń zapewniających bezpieczeństwo ludzi przebywających w pobliżu robota (przeciwko którym robot może być wykorzystany w akcji antyterrorystycznej), ani też mechanizmów uniemożliwiających wykonanie zadania ze względu na bezpieczeństwo otoczenia lub konstrukcji robota. Z tego powodu wszelkie funkcje autonomiczne w robocie SR-10 mogą zostać wyłączone przez operatora.

System sterowania robotem SR-10 posiada wszelkie niezbędne dane dotyczące położenia bazy mobilnej, konfiguracji manipulatora i rozmieszczenia przeszkód, a także pełne możliwości samodzielnego sterowania wszystkimi układami wykonawczymi robota, aby możliwa była implementacja dowolnych funkcji autonomicznych.

W robocie „Inspector”, ze względu na złożoną strukturę kinematyczną manipulatora nie jest możliwe takie ustawienie wyłączników krańcowych poszczególnych stopni swobody, przy jednoczesnym zachowaniu pełnej przestrzeni roboczej, aby nie dopuścić do kolizji manipulatora z urządzeniami dodatkowymi oraz bazą mobilną. Aby zapobiec takiej sytuacji oraz w celu ułatwienia operatorowi teleoperacji zostały zaimplementowane funkcje autonomiczne, które przeciwdziałają samozniszczeniu robota. Funkcja ta jest szczególnie istotna na etapie szkolenia operatora.

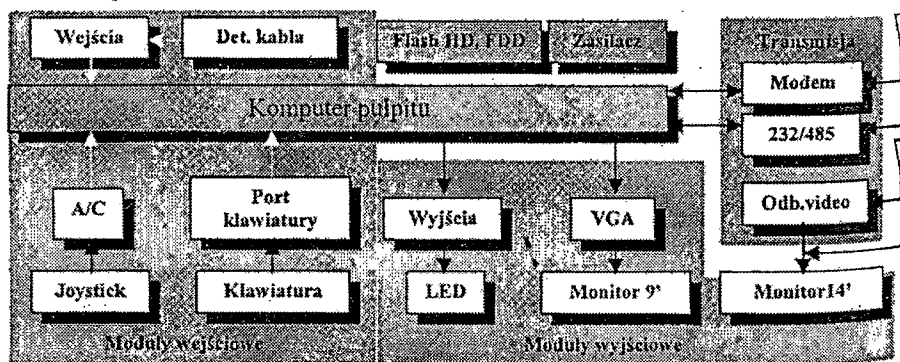
Dzięki zastosowaniu czujników odległości robot może samodzielnie reagować na pojawiające się przeszkody, może unikać kolizji, może samodzielnie poruszać się przed lub za operatorem lub w określonej odległości od ściany (co jest istotne w warunkach silnego zadymienia, gdy czytelność obrazu z kamer jest ograniczona). Możliwe są również bardziej zaawansowane procedury pozwalające na samodzielne poruszanie się robota w nieznanym otoczeniu lub po wyznaczonej ścieżce. Dzięki temu robot może wykonywać zadania polegające na monitorowaniu obszarów (np. skażonych chemicznie lub bakteriologicznie) lub samodzielnie powracać do operatora w przypadku zaniku transmisji radiowej.

Ponadto robot samodzielnie wykrywa obecność sterowania kablowego, automatycznie przełącza się na sterowanie radiowe w przypadku uszkodzenia kabla sterującego, automatycznie zatrzymuje się w przypadku utraty łączności radiowej, może automatycznie składać manipulator do pozycji transportowej (postojowej) a także w prosty sposób może zostać dostosowany do współpracy z dowolnym rodzajem oczujnikowania (np. GPS, czujniki gazu, rodzaju ładunku wybuchowego, itp.) a przez to do rzeczywistych potrzeb użytkownika.

#### 4 ARCHITEKTURA ELEKTRONICZNYCH SYSTEMÓW STEROWANIA

##### 4.1 Architektura stanowiska operatorskiego

Stanowisko operatorskie pełni funkcję interfejsu pomiędzy operatorem a robotem. Jednostką centralną jest, spełniający odpowiednie normy bezpieczeństwa, komputer z magistralą VME współpracujący z kartami obiektowymi przetworników analogowo-cyfrowych oraz wejść i wyjść cyfrowych. Do obsługi klawiatury konsoli sterującej wykorzystany został procesor 8049, dzięki czemu ograniczona została liczba wejść cyfrowych. Detekcja kabla sterującego oraz jego uszkodzenia odbywa się za pośrednictwem wejść cyfrowych, natomiast prędkość gąsienic platformy mobilnej zadawana jest przez dwu-dźwigniowy joystick analogowy połączony z komputerem przez przetwornik A/C.



Rys. 4 Architektura stanowiska operatorskiego

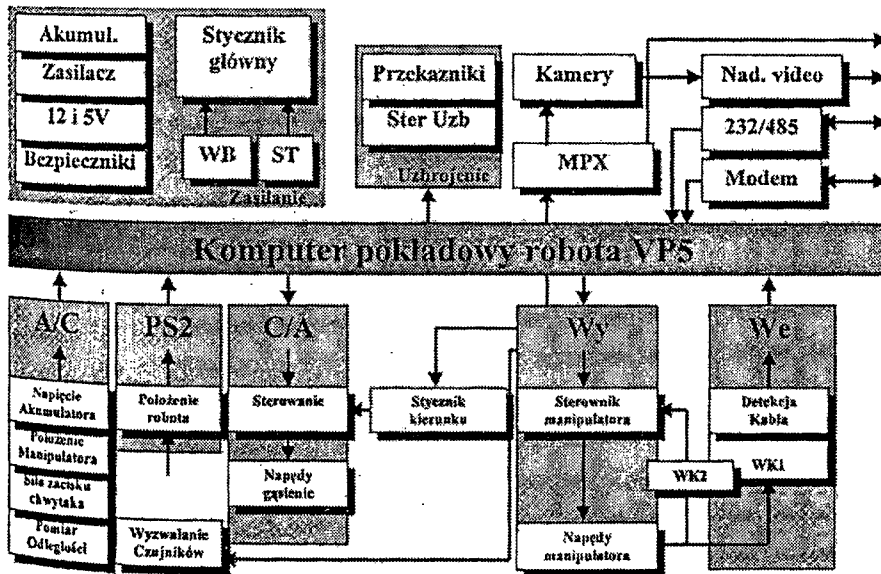
Stan poszczególnych przełączników konsoli sterowniczej potwierdzany jest przez ich podświetlenie diodami LED (sterowanymi przez wyjścia cyfrowe). Monitor pomocniczy, zawierający informacje graficzne, komunikuje się z komputerem poprzez standardowy port VGA. Wizualizacja danych otrzymywanych z kamer, odbywa się na monitorze głównym z pominięciem komputera sterującego. Sygnały wizyjne przekazywane są albo drogą radiową poprzez odbiornik wideo, albo bezpośrednio kablem sterującym.

Wymiana informacji między komputerem stanowiska operatorskiego, a komputerem pokładowym robota odbywa się przez modem radiowy lub kablem sterującym przez interfejs RS 485.

#### 4.2 Architektura robota mobilnego

Podobnie jak w przypadku stanowiska operatorskiego, komputerem pokładowym w robocie SR-10 jest, spełniający odpowiednie normy bezpieczeństwa, komputer z magistralą VME współpracujący z kartami obiektowymi przetworników analogowo-cyfrowych oraz wejść i wyjść cyfrowych.

Podsystem zasilania robota SR-10 składa się z zasilacza połączonego w układzie buforowym z dwoma, szeregowo połączonymi akumulatorami 12V. Układ zasilania wszystkich obwodów elektrycznych robota włączany jest za pomocą stycznika głównego zabezpieczonego dwoma oddzielnymi układami: stacyjką z kluczykiem oraz wyłącznikiem bezpieczeństwa. Układ jest tak zaprojektowany, aby włączenie wyłącznika bezpieczeństwa powodowało bezwzględne odcięcie zasilania wszystkich obwodów. Wyłączenie wyłącznika bezpieczeństwa powoduje uruchomienie zasilania robota z zatrzymanymi silnikami, całkowity powrót wszystkich elektronicznych układów sterowania i kontroli do ustawień domyślnych oraz powrót oprogramowania sterującego do procedur startowych.



Rys. 5 Architektura robota mobilnego

Za pośrednictwem przetworników A/C do komputera pokładowego przekazywane są informacje z czujników: napięcia akumulatorów, położenia manipulatora i gąsienicy przedniej, siły zacisku chwytaka oraz odległości. Aby uniknąć powstawania sztucznych ech wynikających z wzajemnego zakłócania się czujników ultradźwiękowych, zaistniała konieczność sekwencyjnego ich wyzwalania.

Sterowanie prędkością robota mobilnego następuje poprzez przetworniki C/A, natomiast sterowanie manipulatorem, uzbrojeniem oraz kamerami robota odbywa się za pośrednictwem wyjść cyfrowych. Multiplexer (Rys. 5, skrót MPX) pozwala na wybór odbioru obrazu z jednej z 4 kamer i włączenie reflektora doświetlającego dla danej kamery, a dla kamer wyposażonych w obiektyw o zmiennej ogniskowej na regulację: ostrości, powiększenia i przesłony. Napędy manipulatora zostały zabezpieczone dwustopniowymi wyłącznikami krańcowymi. Włączenie pierwszego stopnia wyłącznika informuje program, że dany stopień swobody zbliża się do końca zakresu ruchu. Włączenie drugiego stopnia wyłącznika krańcowego powoduje sprzętowe zatrzymanie napędu.

Transmisja danych oraz wideo odbywa się zgodnie z opisem dotyczącym architektury stanowiska operatorskiego.

## 5 OPROGRAMOWANIE

Oprogramowanie robota SR-10 pracuje w systemie operacyjnym czasu rzeczywistego QNX. Składa się ono z szeregu bibliotek obsługujących układy zbierania danych, sterowania układami wykonawczymi, konfiguracji i obsługi przetworników A/C, wejść i wyjść cyfrowych oraz obsługi magistrali VME.

Mimo zabezpieczeń sprzętowych, na drodze programowej dokonywana jest także wstępna analiza bezpieczeństwa sterowania. Ignorowane są komendy sprzeczne, czyli np. ruch określonego stopnia swobody manipulatora jednocześnie do góry i do dołu, nie jest możliwe wybranie więcej niż jednej kamery jako kamery aktywnej, a także realizowane są funkcje zabezpieczające przed przypadkowym użyciem broni. Bardzo istotnym modułem oprogramowania jest telemetria, odpowiedzialna za dwukierunkową, cyfrową transmisję danych między pulpitem sterującym, a robotem mobilnym. Istotą opracowanego algorytmu było osiągnięcie takiej szybkości wymiany informacji, aby możliwa była kontrola robota w czasie rzeczywistym. Obraz z kamer jest przesyłany oddzielnym kanałem radiowym (lub kablem) i nie wymaga dodatkowego oprogramowania telemetrycznego. Procedury obsługujące komunikację gwarantują maksymalną z możliwych do osiągnięcia (racjonalnym kosztem szybkości transmisji) wiarygodność przesyłanych informacji. W związku z korekcją błędów i odrzucaniem informacji rozpoznanych jako niewiarygodne, na granicy zasięgu modemów radiowych występuje zjawisko zmniejszenia się prędkości transmisji danych. Zjawisko to zostało wykorzystane do monitorowania jakości transmisji danych.

Dane dotyczące sterowania i kontroli wszystkich układów robota znajdują się w uaktualnianym w czasie rzeczywistym wektorze stanu. Dostęp do wektora stanu oraz do bibliotek programowych robota odbywa się z poziomu oprogramowania napisanego w języku C. Dzięki temu oprogramowanie ma strukturę otwartą, może być łatwo modyfikowane oraz rozbudowywane.

## 6 PODSUMOWANIE

Czy roboty zastąpią człowieka? Postęp technologiczny w dziedzinie procesorów o olbrzymich mocach obliczeniowych oraz niska cena pamięci, pozwalają już dziś na budowę niemal dowolnych systemów decyzyjnych czy sterujących. Samochody coraz bardziej przypominają roboty. Regulują ustawienie fotela, kierownicy, lusterek, ustawiają właściwą temperaturę w kabinie, dobierają parametry pracy silnika, zapobiegają poślizgom. Są już prototypy samochodów, które mogą całkowicie samodzielnie poruszać się po drogach. Należy więc

przypuszczać, że w tej dziedzinie już wkrótce „roboty” zastąpią kierowców. Ale pirotechnika rządzi się zupełnie innymi prawami niż ruch drogowy. Tu nie ma ściśle określonych reguł – przepisów postępowania, nie ma znaków ostrzegawczych, nakazu, zakazu czy chociażby informacyjnych. O ile w zakresie pirotechniki wojskowej istnieją katalogi zawierające zdjęcia min, opis materiału wybuchowego oraz sposobu rozbrojenia, to w walce z terroryzmem takie informacje nie istnieją. Bomby nie mają określonego wyglądu, są umieszczane w zwykłych neseserach, torbach, kartonach czy fragmentach rur instalacyjnych, co praktycznie uniemożliwia ich rozpoznanie na podstawie kształtu. Połączenia elektryczne układów wyzwalających oraz same układy wyzwalające wykonywane są według inwencji twórczej konstruktora. Terroryści coraz częściej stosują mieszaniny pirotechniczne według własnego pomysłu i domowej produkcji, co zmniejsza również skuteczność rozpoznania ładunku przez specjalizowane czujniki. Jednym słowem każda bomba jest inna. W tej walce jeszcze przez wiele lat człowiek będzie musiał samodzielnie podejmować decyzje na podstawie doświadczenia, a może zwykłego ludzkiego przeczucia. Ważne jest to, że dzięki robotom pirotechnicznym konsekwencją decyzji operatora nie jest już kwestia życia lub śmierci. Problem w tym, że nie ma dziś robota uniwersalnego, który może zostać wykorzystany w każdej sytuacji, dlatego zadaniem dla inżynierów jest opracowanie całej rodziny robotów oraz osprzętu dodatkowego, aby pirotechnik nie musiał wykonywać neutralizacji żadnego ładunku samodzielnie. Jaki więc będzie kolejny krok w ewolucji robotów pirotechnicznych? Najprawdopodobniej będzie to udoskonalenie oczujnikowania, rozwój funkcji wspomagających operatora a także zmiana interfejsu między operatorem a robotem. Być może operator zostanie wirtualnie przeniesiony do miejsca operacji, a monitory i konsolę sterowniczą zastąpią okulary i rękawice cybernetyczne. To jednak nastąpi dopiero za kilka lat. Dziś istotne jest, aby roboty pirotechniczne były do dyspozycji każdej jednostki pirotechnicznej.

## 7 LITERATURA

- [1] A. Masłowski, „Mobilne roboty interwencyjno-inspekcyjne”, *Pomiary Automatyka Robotyka* 9/1997, str. 25-29.
- [2] Strona WWW zawierająca opis robota SR-10 Inspector <http://www.piap.waw.pl/inspector/>