

mgr inż. Dominik Puchan, dr hab. inż. Piotr Skrzypczyński
 Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Inżynierii Informatycznej

PERSPEKTYWY WYKORZYSTANIA ROBOTÓW MOBILNYCH W DZIAŁANIACH POSZUKIWAWCZYCH PODCZAS KATASTROF BUDOWLANYCH

Akcje poszukiwawcze i ratownicze odbywające się w warunkach miejskich (ang. urban search and rescue) są obecnie postrzegane na świecie jako jeden z ważniejszych obszarów zastosowań robotów mobilnych. W niniejszej pracy poruszono zagadnienia dotyczące potencjalnej roli robotów podczas akcji ratunkowych, miejsca robotów w strukturach Grup Poszukiwawczo-Ratowniczych (GPR) oraz optymalnych konfiguracji układów lokomocyjnych i sensorycznych takich robotów. Podjęto także próbę wypracowania zaleceń dotyczących projektowania robotów wspomagających akcje GPR oraz przedstawiono koncepcję miniaturowego robota przeznaczonego do przeszukiwania gruzowisk.

ON USING MOBILE ROBOTS FOR SEARCH IN COLLAPSED BUILDINGS

Nowadays, urban search and rescue (USAR) is one of the most important application fields for the mobile robots. Unfortunately, this potential is not widely recognized by robotics researchers in Poland. This paper considers such issues as: what tasks can be performed by robots in the USAR domain, how the robots can fit into the existing structure of a rescue team, and what is the optimal configuration of both the locomotion system and the sensors of such robots. Some guidelines to the design of USAR robots have been proposed, and a concept of a miniature robot intended for trapped victims search in collapsed buildings has been developed.

1. WSTĘP

Rozwój cywilizacji prowadzi do ciągłego rozwoju terenów miejskich oraz zagęszczenia ich zabudowy. Wraz z tym wzrasta ryzyko katastrof budowlanych. Jaką liczbę ofiar może za sobą pociągnąć takie wydarzenie uświadomiła tragedia World Trade Center, 11 września 2001 r. Aby ocenić skalę problemu, jaki stanowią katastrofy budowlane warto zapoznać się ze statystykami dotyczącymi katastrof, które wydarzyły się w Polsce w okresie ostatnich 10 lat [6]. Średnio w roku zdarza się 181 katastrof budowlanych. Średnia liczba poszkodowanych w roku wynosi 50 osób. Dane te nie uwzględniają jeszcze ofiar zaważenia się hali Targów Katowickich – tylko w tej jednej katastrofie śmierć poniosło 66 osób.

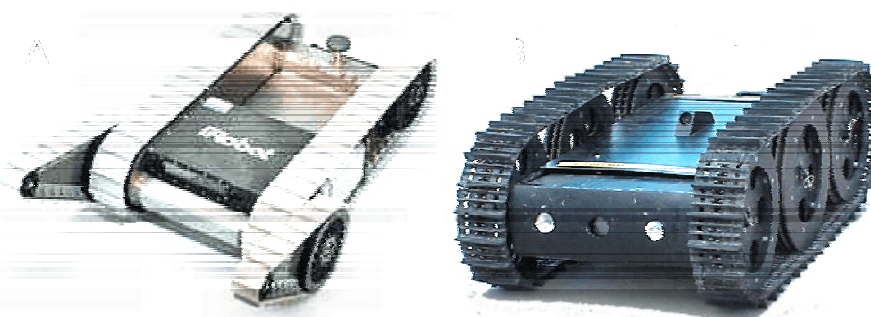
Gruzowisko powstałe po katastrofie budowlanej jest środowiskiem wyjątkowo niebezpiecznym, a praca w nim zagraża zdrowiu i życiu ratowników. Naturalnym jest więc, że prowadzone są liczne prace badawcze i konstrukcyjne dotyczące robotów mobilnych przeznaczonych do wspomagania różnych aspektów działań poszukiwawczo-ratowniczych. Udana konstrukcja robotów poszukiwawczo-ratowniczych mogą stać się istotnym elementem uzupełniającym systemu reagowania na katastrofy w obszarach miejskich. Ważne jest więc rozpoznanie oczekiwań przyszłych użytkowników wobec robotów poszukiwawczo-ratowniczych oraz uwzględnienie wiedzy i doświadczenia ekspertów w dziedzinie prowadzenia akcji ratowniczych na gruzowiskach. Tego rodzaju analizy znane są z literatury [4], jednak jak dotychczas nie były one prowadzone w Polsce.

W niniejszej pracy przeprowadzono analizę zadań robotów wspomagających akcje ratownicze podczas katastrof budowlanych, usystematyzowano znane koncepcje robotów poszukiwawczo-ratowniczych w funkcji ich zdolności do wykonywania tych zadań, oraz podjęto próbę zdefiniowania założeń projektowych dla względnie prostego robota poszukiwawczego, który miałby szansę wdrożenia w uwarunkowaniach polskiego systemu ratownictwa.

2. ROBOTY POSZUKIWAWCZO-RATOWNICZE NA ŚWIECIE

2.1. Roboty kołowe i gąsienicowe

Konfiguracja układu jezdny wykorzystująca koła lub gąsienice charakteryzuje się prostą konstrukcją oraz intuicyjnym sterowaniem. Roboty należące do tej grupy stanowią zdecydowaną większość, zarówno wśród rozwiązań komercyjnych, jak i prototypów o charakterze badawczym. Układy jezdne robotów poszukiwawczo-ratowniczych są zdominowane przez rozwiązania gąsienicowe, ze względu na lepsze właściwości jezdne gąsienic w trudnym terenie oraz mniejszy nacisk jednostkowy na podłoże.



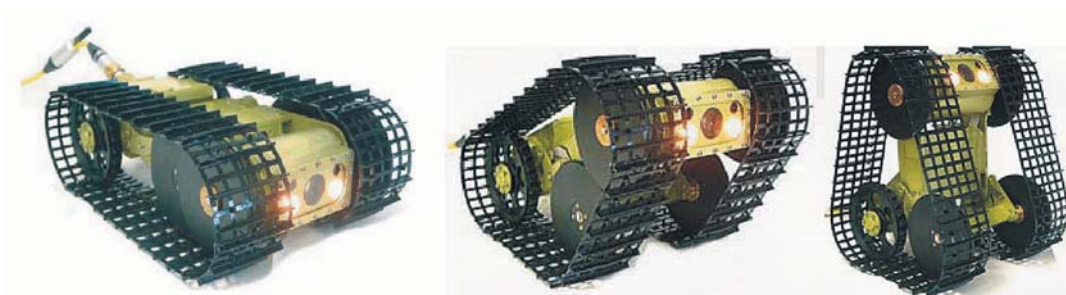
Rys. 1. Roboty klasy UGV: PackBot (A) [9] i Urobot (B) [2]

W działaniach poszukiwawczo-ratowniczych wykorzystywane są często roboty gąsienicowe średniej wielkości, o cechach robotów inspekcyjno-interwencyjnych [10]. Roboty należące do tej grupy klasyfikowane są jako bezzałogowe pojazdy naziemne (ang. *Unmanned Ground Vehicles* – UGV). Dzięki względnie dużym rozmiarom mogą się one swobodnie poruszać po terenie katastrofy, pokonując niewielkie przeszkody, lecz jednocześnie rozmiary te uniemożliwiają im wnikanie w strukturę gruzowiska.

Do najbardziej znanych i rozpowszechnionych robotów z tej grupy należy PackBot produkowany w USA przez iRobot Inc. [9]. Konstrukcja ta była prekursorem nowej grupy robotów inspekcyjno-interwencyjnych, które mogą być przenoszone przez operatora (ang. *man-portable robot*). Bazowa platforma serii PackBot ma masę 18 kg, a jej wysokość nie przekracza 20 cm (rys. 1A). Posiada gąsienicowy układ jezdny z umieszczonymi z przodu dodatkowymi gąsienicami o regulowanym stopniu nachylenia. To rozwiązanie oraz zastosowanie specjalnych "płetw" na gąsienicach umożliwia robotowi PackBot pokonywanie schodów oraz wzniesień o znacznym nachyleniu. PackBot został zaprojektowany tak, aby wytrzymał upadek z wysokości do 2 m oraz zanurzenie w wodzie. Czujniki są montowane na platformie opcjonalnie, w zależności od rodzaju wykonywanego zadania. Mogą one obejmować, oprócz kamer wizyjnych, także GPS, elektroniczny kompas i czujniki zadaniowe, np. temperatury lub skażenia chemicznego. Komunikacja z robotem jest bezprzewodowa, poprzez radiowy Ethernet. PackBot to jeden z nielicznych robotów które zostały użyte

podczas prawdziwej akcji ratowniczej – po ataku terrorystycznym na World Trade Center [11]. Do tej samej grupy konstrukcji zaliczyć można robota Urobot [2]. W jego konstrukcji zastosowano ciekawe podejście do problemu poruszania się w bardzo trudnym terenie. Robot ten charakteryzuje się symetrią w płaszczyźnie poziomej, i w przypadku przewrócenia się na "plecy" jest zdolny do dalszego działania (rys. 1B).

Należy wspomnieć, że do robotów klasy UGV należą też zbudowane w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów w Warszawie SR-11 Inspector [10] oraz SMR-100 Expert, są to jednak większe roboty, zoptymalizowane do zadań inspekcyjno-interwencyjnych i używane przede wszystkim przez formacje policyjne.



Rys. 2. Ilustracja sekwencji zmiany geometrii gąsienic robota Micro-VGTV [8]

Godna uwagi z punktu widzenia realizacji zadań poszukiwawczo-ratowniczych podczas katastrof budowlanych jest także grupa małych robotów o gąsienicowym układzie jezdnym. W przeciwieństwie do typowych UGV, roboty te, dzięki niewielkim rozmiarom, mogą wnikać w strukturę gruzowiska, wykorzystując naturalne szczeliny, pozostałości konstrukcji (np. przewody wentylacyjne) lub specjalnie wywiercone otwory. Chociaż tego rodzaju roboty, określane niekiedy jako micro-UGV, pozostają na razie w fazie badań i prototypów, to pojawiło się kilka interesujących konstrukcji, do których należą roboty zbudowane przez amerykańską firmę Inuktun w konfiguracji VGTV (ang. *Variable Geometry Tracked Vehicle*) umożliwiającej zmianę kształtu gąsienicy robota (rys. 2). Robot Micro-VGTV [8] w konfiguracji "niskiej" ma wysokość zaledwie 65 mm, natomiast w konfiguracji "wysokiej" 254 mm. Robot ten może być zasilany i sterowany przewodowo, a przewód został zaprojektowany w taki sposób, aby wytrzymać ciężar robota. Pozwala to opuszczać robota na przewodzie do eksplorowanych pomieszczeń.

2.2. Roboty pełzające

Na przestrzeni ostatnich kilku lat nastąpił szybki rozwój konstrukcji robotów pełzających (zwanymi często węzowymi – ang. *snake-like robots*), w których naśladuje się sposób lokomocji takich zwierząt jak węże lub krocionogi. Zauważono, że ciało węża jest bardzo uniwersalne – może spełniać funkcje stopy (podczas ruchu po płaskiej powierzchni), ręki (podczas wspinania się) lub tułowia. W związku z powyższymi własnościami lokomocja typu węzowego dobrze sprawdza się w tak trudnym i urozmaiconym terenie jak gruzowisko powstałe po katastrofie budowlanej [5]. Zazwyczaj niewielki przekrój poprzeczny robota typu węzowego pozwala mu także wnikać w strukturę gruzowiska.

Ciekawą odmianą robotów pełzających są roboty hipermobilne, mające redundantne złącza aktywne i elementy napędzające w każdym segmencie. Do takich konstrukcji należą OmniPede i OmniTread opracowane w University of Michigan Mobile Robotics Lab [7]. Starsza konstrukcja – OmniPede inspirowana jest budową krocionoga i posiada na każdym

segmente cztery nogi rozmieszczone na jego obwodzie. Nowszy robot OmniTread i jego odmiana OT-4 mają pary gąsienic napędowych rozmieszczonych równomiernie wokół każdego segmentu. Bardzo duży stosunek powierzchni czynnej robota (jego elementów napędowych) do całej powierzchni korpusu daje mu dobre możliwości poruszania się w bardzo trudnym terenie, a szczególnie możliwość "przeciskania" się między przeszkodami, co może pozwolić na sprawne wnikanie w gruzowisko. Istotną wadą robotów tej rodziny wydaje się być skomplikowane sterowanie – wymagana jest współpraca dwóch lub trzech operatorów, pozostających w kontakcie wzrokowym z robotem.

2.3. Roboty niekonwencjonalne

Jest to grupa robotów, których konstruktorzy postawili na innowacyjne rozwiązania w zakresie lokomocji. Są one zazwyczaj bardzo wyspecjalizowane i przeznaczone do wykonania jednego, ściśle określonego zadania.

Ciekawym przykładem takiego robota, zaprojektowanego specjalnie do penetrowania gruzowisk, jest TerminatorBot [16]. Robot ten "czołga się" używając dwóch ramion, które są wyrzucane do przodu, a następnie opierają się o podłoże i unoszą korpus robota. W ten sposób robot, wykonując jeden cykl ruchu ramion przesuwa się o połowę swojej długości.

Inny przykład niekonwencjonalnego układu lokomocji to rozwiązanie przyjęte w japońskim robocie Leg-in-Rotor [15]. Robot ten zaprojektowany został specjalnie z myślą o eksploracji obszarów katastrof w mieście. Posiada on dwa koła, które pozwalają mu toczyć się po płaskich powierzchniach oraz pneumatyczny cylinder, dzięki któremu potrafi skakać na znaczną wysokość.

4. PORÓWNANIE RÓŻNYCH KONCEPCJI BUDOWY ROBOTA POSZUKIWAWCZO-RATOWNICZEGO

Powyżej przedstawiono w zarysie najważniejsze koncepcje budowy robotów poszukiwawczo-ratowniczych przeznaczonych do działań w obszarach katastrof budowlanych. Roboty zbudowane zgodnie z tymi koncepcjami charakteryzują się różnymi własnościami nie tylko w zakresie mobilności, lecz także wyposażenia w sensory i sposobu sterowania, co implikuje różny zakres możliwego wykorzystania przez zespoły poszukiwawczo-ratownicze.

Tab. 1. Cechy różnych koncepcji robota poszukiwawczo-ratowniczego

Kryterium oceny	UGV	micro-UGV	VGTV	Snake-like	TerminatorBot
Zakres samodzielnego				średni lub	
poruszania się po gruzowisku	duży	brak	niewielki	niewielki	brak
Zdolność do	średnia				
pokonywania schodów	lub dobra	brak	dobra	dobra	znikoma
Zdolność do wnikania				średnia	
w gruzowisko	brak	dobra	znikoma	lub dobra	dobra
Stopień komplikacji					
części lokomocyjnej	niewielki	niewielki	średni	duży	średni
Typowe wyposażenie	bardzo				
w sensory	dobre	podstawowe	dobre	podstawowe	słabe
Przewidywane koszty	wysokie	niskie	średnie	wysokie	niskie

Roboty klasy Unmanned Ground Vehicle są bardzo uniwersalne. Podczas katastrof można je wykorzystywać do różnych celów, nie tylko do poszukiwania poszkodowanych. Mniej uniwersalne są roboty micro-UGV. Ich niewielkie rozmiary ograniczają możliwość

wyposażenia w czujniki. Zazwyczaj nie mogą one również samodzielnie poruszać się po obszarze gruzowiska i są przenoszone przez operatora od jednego miejsca pracy do drugiego. Ich zadaniem podstawowym jest penetrowanie wnętrza gruzowiska w celu odnalezienia poszkodowanych. Mogą one także dostarczyć informacje o strukturze gruzowiska, co ułatwia podjęcie decyzji dotyczących dalszych poszukiwań lub odgruzowania, a także jest bardzo istotne dla bezpieczeństwa samych ratowników.

Ważną cechą robota jest jego żywotność podczas akcji ratowniczej. Producenci PackBota postawili na jego wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne. Natomiast twórcy Urbota zapewnili łatwość wymiany poszczególnych elementów, takich jak baterie, koła i gaśnice. Pozwala to znacząco przedłużyć realny czas użycia robota podczas akcji poszukiwawczej. Łatwość demontażu, naprawy i ponownego montażu robota jest czynnikiem często decydującym o powodzeniu akcji, gdyż zazwyczaj ratownicy mają do dyspozycji niewielką liczbę robotów [4].

Kolejnym istotnym zagadnieniem jest sposób dostarczania energii do robota oraz sposób komunikacji z operatorem. Stosowane jest połączenie robota przewodem z pulpitem operatora lub bezprzewodowa komunikacja radiowa. Główną zaletą braku przewodu łączącego robota z operatorem jest brak zagrożenia zapłataniem się przewodu w elementach gruzowiska lub konstrukcji robota (szczególnie w gaśnicach), oraz możliwości fizycznego uszkodzenia łącza i utraty komunikacji. Jednak ze względu na zazwyczaj słabą propagację sygnału radiowego w strukturze gruzowiska (zależy to od wielu czynników, a głównie konstrukcji zniszczonego budynku) łącze bezprzewodowe nie zawsze się sprawdza i wprowadza istotne zagrożenie utraty łączności z operatorem w przypadku wnikięcia robota do wnętrza gruzowiska [11]. W przypadku niewielkich robotów przeznaczonych do pracy wewnątrz gruzowiska łączność przewodowa wydaje się trafniejszym rozwiązaniem, tym bardziej, że można wówczas dostarczać przewodem także energię do robota, istotnie zmniejszając jego masę i wymiary.

Przedstawione koncepcje budowy robotów poszukiwawczo-ratowniczych w znacznej części dotyczą konstrukcji laboratoryjnych, co oznacza, że nie zostały one przetestowane w warunkach prawdziwej akcji ratowniczej. Dokonano jednak porównania ważniejszych cech tych koncepcji, a wyniki zestawiono w tab. 1. Główną osią podziału robotów poszukiwawczo-ratowniczych przedstawionego w tabeli 1 jest koncepcja systemu lokomocji. Z punktu widzenia wykorzystania robotów podczas akcji ratowniczych istotny jest jednak także podział ze względu na wykonywane zadania. Poniżej dokonano podziału znanych z literatury robotów poszukiwawczo-ratowniczych na cztery grupy, istotnie różniące się funkcjonalnością, niezależnie od przyjętej koncepcji budowy.

Grupa I. Roboty te mają możliwość samodzielnego poruszania się po gruzowisku. Ich zadaniem jest przeszukiwanie obszaru zawału na powierzchni. Mogą być wykorzystywane do przewozu różnych przedmiotów (np. środków medycznych). W celu zwiększenia autonomii sterowane są przez operatora bezprzewodowo i mają pokładowe źródło zasilania, a często także bogaty zestaw sensorów. Dzięki temu mogą pracować w znacznym oddaleniu od operatora przez dłuższy czas (do kilku godzin). Wykorzystują najczęściej gaśnicowy układ jezdny.

Grupa II. Zadaniem tych robotów jest przeszukiwanie konkretnego obszaru gruzowiska. Mają małe wymiary i nie potrafią samodzielnie poruszać się po gruzowisku, na miejsce pracy przynoszone są przez operatora i pracują w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Często sterowane są, a niekiedy także zasilane, przewodowo. Wyposażone są w podstawowe sensory – zazwyczaj jest to jedynie kamera. Ich główną zaletą są małe wymiary i zwarta

konstrukcja, co umożliwia głębsze wnikanie w strukturę gruzowiska. Wykorzystują gąsienicowy układ jezdny lub niekonwencjonalne rozwiązania problemu lokomocji.

Grupa III. Są to roboty wykazujące zarówno cechy robotów grupy I jak i II. Są większe od robotów grupy II i mają od nich większe możliwości pokonywania przeszkód oraz przenoszenia sensorów i wyposażenia, aczkolwiek zachowują zdolność do (zazwyczaj płytkiego) wnikania w strukturę gruzowiska. Typowymi przedstawicielami tej grupy są opisane wcześniej roboty w układzie VGTV.

Grupa IV. Do tej grupy zaliczyć można roboty pełzające. Charakteryzują się bardzo dobrymi możliwościami pokonywania różnorodnych przeszkód i wnikania w strukturę gruzowiska, jednak kosztem uproszczonego wyposażenia zadaniowego, skomplikowanego sterowania i wysokiej ceny jednostkowej.

3. KLASYFIKACJA KATASTROF Z PUNKTU WIDZENIA DZIAŁAŃ POSZUKIWAWCZYCH

Katastrofą budowlaną jest niezamierzone, gwałtowne zniszczenie obiektu budowlanego lub jego części, a także konstrukcyjnych elementów rusztowań, elementów formujących, ścianek szczelnych i obudowy wykopów (art. 73 ust. 1 Ustawy "Prawo budowlane"). Zdarzeniem budowlanym (pojęcie przyjęte w terminologii pożarnej) jest miejscowe zagrożenie, w którym wystąpiło zniszczenie lub uszkodzenie budowanego lub istniejącego obiektu budowlanego, stwarzające zagrożenie dla życia i mienia ludzkiego [1].



Rys. 3. Gruzowiska typu stok (A) i ruina brzegowa (B) oraz schemat pomieszczenia zasypanego (C) [1]

Możliwości wykorzystania robotów poszukiwawczo-ratowniczych w dużym stopniu zależą od struktury gruzowiska na którym prowadzona jest akcja ratownicza. Pewne typy gruzowisk uniemożliwiają wykorzystanie robotów poszukiwawczych do penetracji zawału. Rodzaj powstałego gruzowiska zależy od technologii w jakiej wykonany był budynek, od materiałów wykorzystanych w konstrukcji budynku oraz od przyczyn katastrofy. Istnieje również powiązanie pomiędzy tymi przyczynami, a prawdopodobieństwem znajdowania się pod gruzami ofiar katastrofy. Można wyróżnić kilka podstawowych przyczyn powstawania katastrof budowlanych: błędy konstrukcyjne, przeciążenie elementu budowlanego, zmiany w gruncie (w tym trzęsienia ziemi i osunięcia gruntu), nadciśnienie i podciśnienie powietrza (w tym huragany i różnego rodzaju eksplozje), starzenie się budynku, działanie wody. Typowe rodzaje zagruzowań to:

- Stok (zawał pochyły) powstaje w zniszczonych wielokondygnacyjnych budynkach murowanych (rys. 3A). W tym przypadku stropy układają się skośnie i są przeplatane gruzem ze ścian. Powstałe rumowisko jest trudnym terenem do prowadzenia akcji ratunkowej i zagraża uwięzieniem ratowników w rumowisku. W takich warunkach

przydatne będą roboty grupy I oraz III, zdolne do samodzielnego poruszania się po rumowisku. Wykorzystanie robotów grupy II jest utrudnione, ponieważ mają one ograniczony zasięg i ratownicy zmuszeni są do pracy na gruzowisku, co nie eliminuje ryzyka. Roboty grupy IV mogą samodzielnie penetrować jedynie najniższe kondygnacje.

- Zawał płaski (uwarstwienie) charakteryzuje się całkowitym zniszczeniu ścian nośnych oraz działowych. Przy tego typu rumowiskach dostęp do poszkodowanych jest bardzo utrudniony, ze względu na małą ilość wolnej przestrzeni pomiędzy gruzem. Z tego powodu użycie robotów grupy I lub III wydaje się niecelowe. Efekty może przynieść użycie robotów grupy II lub IV do lokalnego przeszukiwania gruzowiska.
- Pomieszczenie wypełnione powstaje w przypadku złamania lub wgniecenia stropów niższych kondygnacji przez spadający gruz i elementy konstrukcyjne zniszczonych kondygnacji położonych wyżej. Ten typ zagruzowania stwarza pewne możliwości przeżycia ludzi ze względu na wytworzenie się pustych przestrzeni w strefie przyściennej. Roboty ratownicze mogą zostać użyte wzdłuż ścian w celu zlokalizowania ofiar i nawiązania z nimi kontaktu. Do wykonania tego zadania najlepiej nadają się roboty grupy III lub IV. Lokalne szczeliny można spenetrować z użyciem robotów grupy II.
- Pomieszczenie zasypane występuje, gdy gruz i elementy konstrukcyjne budowli ułożą się na stropie kondygnacji niższej (rys. 3C). W tego typu przypadkach roboty poszukiwawczo-ratownicze mogą okazać się bardzo przydatne, a ich zadaniem będzie przedostanie się do zasypanego pomieszczenia i spenetrowanie go. Do tego zadania najodpowiedniejsze wydają się roboty grupy II lub IV.
- Ruina brzegowa powstaje w wyniku zniszczenia części ścian zewnętrznych budynku (rys. 3B). W związku ze zniszczeniem części ścian dochodzi do zawalenia się stropów wspartych na zniszczonych ścianach. Przy tego typu zawałach roboty grupy II i IV są mało przydatne. Roboty grupy I mogą przeprowadzić inspekcję stojącej części budynku, natomiast użycie robotów grupy III jest ograniczone ich małymi zazwyczaj możliwościami pokonywania przeszkód pionowych.
- Stożek gruzowy (stos rumowiska) powstaje przy zniszczeniu wolno stojących budynków zazwyczaj wykonanych w technologii tradycyjnej. W tego typu ruinie wyodrębnia się kilka rodzajów zagruzowania – zawał pochyły, pomieszczenie wypełnione, zawał płaski, co powoduje, że jest to jeden z najtrudniejszych zawałów, a prawdopodobieństwo znalezienia żywych ludzi jest niewielkie. W tego typu zawałiskach możliwości wykorzystania robotów poszukiwawczo-ratowniczych grup II, III i IV są znikome, gdyż ułożenie gruzu nie pozwala na wprowadzenia robota do wnętrza. Jedynie roboty grupy I mogą pełnić funkcje pomocnicze na terenie objętym katastrofą.

4. UŻYCIE ROBOTÓW W AKCJACH POSZUKIWAWCZO-RATOWNICZYCH

4.1. Taktyka działań poszukiwawczo-ratowniczych

Planując wdrożenie robotów mobilnych do działań poszukiwawczo-ratowniczych należy zadać sobie pytanie jakie służby ratownicze powinny takimi robotami dysponować, jak umiejscowić roboty w ich strukturze organizacyjnej, oraz jakie konkretne zadania roboty te będą wykonywać.

W Polsce służbą odpowiedzialną za prowadzenie akcji ratowniczych podczas katastrof budowlanych jest Państwowa Straż Pożarna (PSP). Oddziałami PSP specjalnie powołanymi do działań związanych z poszukiwaniem i ratowaniem ofiar katastrof są Grupy Poszukiwawczo-Ratownicze. Na terenie kraju działa pięć takich grup. Po zgłoszeniu na miejsce katastrofy

przyjeżdża najbliższa jednostka Straży Pożarnej, a kolejnym krokiem jest wezwanie GPR. Do jej przybycia zadaniem jednostek znajdujących się na terenie katastrofy jest wstępne rozpoznanie i zabezpieczenie miejsca zdarzenia oraz ewakuacja ofiar znajdujących się na zewnątrz. Następnie do akcji przystępuje GPR. Jej zadania obejmują:

- Odnalezienie zasypanych i uwięzionych poszkodowanych. W tym celu wykorzystuje się psy ratownicze i urządzenia techniczne: geofony, kamery termowizyjne.
- Dotarcie do osób zasypanych.
- Udzielenie pierwszej pomocy medycznej.
- Wydobycie i transport osób poszkodowanych poza rejon zdarzenia.

Podczas akcji ratowniczej wykonywane są kolejno następujące czynności [14]:

1. Nawoływanie ofiar.
2. Wprowadzenie psów ratowniczych.
3. Wprowadzenie technicznych urządzeń lokalizacyjnych – po przeprowadzeniu pełnego cyklu poszukiwań przez psy i odpowiednim oznaczeniu miejsc przez nie zasygnalizowanych. Ich zastosowanie pozwala na dokładniejsze określenie miejsca przebywania ofiary.
4. Dotarcie do ofiar – po zlokalizowaniu poszkodowanych ratownicy próbują dotrzeć do ofiar i udzielić im pomocy.

Obecnie w działaniach GPR podstawowymi urządzeniami technicznymi do lokalizacji poszkodowanych są geofony, wyposażone w mikrofony sejsmiczne. Dokładna lokalizacja poszkodowanych polega na stopniowym zagęszczaniu sensorów w miejscu zarejestrowania najsilniejszego sygnału [14].

Urządzeniem bardzo przydatnym w działaniach poszukiwawczo-ratowniczych jest kamera wziernikowa. Jest to kamera video wyposażona w elastyczną sondę z obiektywem, a niekiedy także z interkometem. Umożliwia ona dokładne określenie sposobu ułożenia zlokalizowanej ofiary pod warstwą gruzu i ewentualne nawiązanie z nią kontaktu głosowego. Główną zaletą tego urządzenia jest niewielki rozmiar obiektywu, dzięki czemu można go włożyć w małe szczeliny lub wywiercone otwory, a główną wadą jest mały zasięg obserwacji.

W działaniach poszukiwawczych stosuje się również kamery termowizyjne. Za ich pomocą można lokalizować źródła emisji ciepła, takie jak wewnętrzne pożary w gruzowisku oraz zasypanych żywych ludzi. Skuteczność kamer w dużym stopniu zależy od temperatury otoczenia. Im niższa jest temperatura na gruzowisku, tym większa jest skuteczność kamer termowizyjnych.

4.2. Perspektywy zastosowania robotów poszukiwawczych w akcjach GPR

Jak wynika z przedstawionej powyżej zwięzłej analizy taktyki działań ratowniczych oraz zadań stawianych przed poszczególnymi jednostkami w tych działaniach uczestniczącymi, roboty poszukiwawczo-ratownicze powinny znaleźć się na wyposażeniu GPR. Są to jednostki podejmujące bezpośrednie działania zmierzające do odszukania uwięzionych ofiar oraz mające doświadczenie w pracy ze środkami technicznymi i odpowiednie zaplecze logistyczno-transportowe.

Ratownicy z GPR, jako przyszli użytkownicy, powinni mieć decydujące zdanie co do sposobu użycia robotów w akcjach poszukiwawczych. Biorąc to pod uwagę, listę podstawowych zadań dla robotów poszukiwawczo-ratowniczych ustalono po bezpośrednich konsultacjach ze strażakami należącymi do Grup Poszukiwawczo-Ratowniczych w Poznaniu i Nowym Sączu [12].

Szukanie dróg dojścia do zlokalizowanych ofiar. Zgodnie z sugestiami ratowników, podstawowym zadaniem robota powinna być próba dotarcia do zasypanej, wstępnie już zlokalizowanej ofiary. Po zlokalizowaniu uszkodzonego przez psy lub geofon, robot zostaje wprowadzony w strukturę gruzowiska. Jego operator stara się znaleźć drogę, którą ratownicy mogli by najszybciej i bezpiecznie dotrzeć do ofiary. Dodatkowo istotne jest nawiązanie kontaktu (poprzez interkom w robocie) z ofiarą. Można wówczas uzyskać informacje o stanie uszkodzonego i zorientować się, czy w jego otoczeniu można spodziewać się innych ofiar.

Inspekcja gruzowiska. Roboty poszukiwawczo-ratownicze mogą dostarczyć cennych informacji dotyczących struktury i stanu gruzowiska. Informacji takich nie mogą dostarczyć inne środki i urządzenia używane przez GPR (z wyjątkiem kamery wziernikowej, która ma jednak wiele ograniczeń) Informacje te poprawiają bezpieczeństwo ratowników i pozwalają lepiej planować dalsze akcje.

Inspekcja pomieszczeń. Roboty poszukiwawczo-ratownicze mogą być użyte do inspekcji pomieszczeń w przypadku częściowego uszkodzenia budynku. W takim przypadku do pomieszczenia zasypanego lub częściowo wypełnionego wprowadza się robota wyposażonego w odpowiednie sensory, co umożliwia przeprowadzenie inspekcji bez narażania ratowników.

Przeszukiwanie gruzowiska. Dodatkowym zadaniem robotów, gdy ofiary nie zostały zlokalizowane innymi metodami, może być przeszukiwanie obszaru gruzowiska. Operator może wykorzystać interkom robota do nawoływania ofiar. Jednak robot może przeszukać tylko określony odcinek zawału, najprawdopodobniej struktura gruzowiska nie pozwoli mu operować na większym obszarze.

5. KONCEPCJA ROBOTA POSZUKIWAWCZEGO DLA GPR

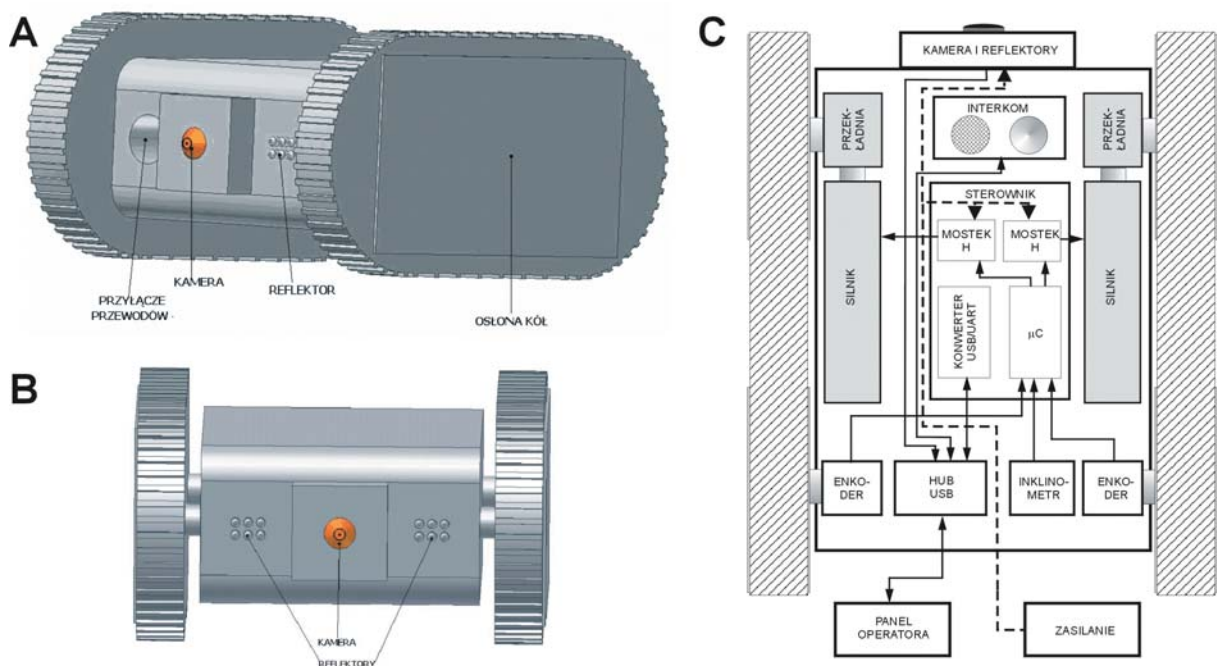
Z przedstawionych w niniejszej pracy analiz obecnego stanu robotyki ratowniczej na świecie, możliwości użycia robotów w warunkach różnego typu katastrof budowlanych, oraz sposobu działania grup ratowniczych wynika, że w ratowaniu życia ofiar katastrof budowlanych uczestniczyć mogą roboty mobilne różnych klas. W warunkach istniejącego w Polsce systemu ratownictwa, dysponującego stosunkowo skromnymi środkami finansowymi ważna wydaje się jednak próba ustalenia, jakiego rodzaju roboty będą najbardziej przydatne.

W opinii ratowników należących do GPR największe perspektywy praktycznego zastosowania w polskich warunkach mają niewielkie roboty należące do grupy II. Roboty tej kategorii mogą w wielu sytuacjach zastąpić stosowane obecnie kamery wziernikowe, z których możliwości ratownicy nie są w pełni zadowoleni. Są to jednocześnie roboty o małych wymiarach, a więc łatwe w transporcie (przenoszone w specjalnej walizce lub plecaku), a ich wprowadzenie do służby nie wymagało by istotniejszych zmian w logistyce zespołu ratowniczego. Należy zwrócić uwagę, że czynnik logistyczny może być bardzo istotny dla powodzenia akcji ratowniczej, gdyż czas dotarcia ratowników na miejsce katastrofy i podjęcia poszukiwań ma ogromne znaczenie dla szans przeżycia ofiar katastrofy [4]. Nie bez znaczenia jest też niewielki koszt małych, względnie prostych robotów w porównaniu do np. robotów klasy UGV (grupy I i III) produkowanych na potrzeby wojska lub policji.

Ograniczeniem robotów grupy II jest brak możliwości samodzielnego poruszania się po gruzowisku w poszukiwaniu ofiar, jednak analizując ustalone przez strażaków-ratowników priorytety zadań dla robota, omówione w poprzednim punkcie, możemy dojść do wniosku, że najważniejsze zadania wymagają jedynie lokalnej (choć niekiedy głębokiej) penetracji gruzowiska i mogą być wykonywane w pobliżu operatora.

Biorąc pod uwagę wszystkie przeprowadzone analizy i uzyskane opinie, zdecydowano się na projekt małego, zdalnie sterowanego robota o gaśnicowym układzie jezdnym [12]. Projektowany robot wyposażony jest w dwie kamery pokładowe, interkom i sygnał dźwiękowy. Podstawowym założeniem konstrukcyjnym robota stało się dążenie do zminimalizowania jego rozmiarów, tak, aby nie tylko mógł on poruszać się we wnętrzu gruzowiska, lecz także mógł zostać tam wprowadzony poprzez otwór wywiercony przez ratowników. Projektowany robot poszukiwawczo-ratowniczy będzie mógł przejąć część zadań kamer wziernikowych (wysięgnikowych), zapewniając jednak znacznie większy zasięg działania oraz dwustronną komunikację głosową ratownik-poszkodowany.

W celu radykalnego ograniczenia rozmiarów urządzenia zrezygnowano z pokładowych akumulatorów, decydując się na zasilanie z zewnętrznego źródła przewodem ciągniętym przez robota. Wprawdzie ciągnięty przez robota przewód powoduje dodatkowe opory ruchu, które rosną wraz z długością rozwiniętego przewodu, a tym samym z przebytą odległością,



Rys. 4. Projekt małego robota poszukiwawczo-ratowniczego i schemat blokowy jego modelu funkcjonalnego

jednak w przypadku robota grupy II nie powoduje to istotnego ograniczenia funkcjonalności, gdyż robot ten przeznaczony jest do działania w bezpośredniej bliskości operatora i przenoszony pomiędzy punktami badania gruzowiska. Przewód może jednak powodować awarie, gdy dostanie się między koła [3]. Należy temu zapobiegać przez odpowiednią konstrukcję i osłonięcie układu jezdnego robota (rys. 4A). Także sterowanie robotem realizowane jest przewodowo, co zmniejsza ryzyko utraty robota z powodu zaniku łączności podczas penetracji gruzowiska. Wymiary zewnętrzne bryły zaprojektowanego robota wynoszą 200 mm [EQUATION] 170 mm [EQUATION] 90 mm (długość [EQUATION] szerokość [EQUATION] wysokość), co powinno pozwolić na wprowadzanie go w strukturę gruzowiska poprzez otwory wywiercone przez ratowników za pomocą typowego sprzętu. Masa robota nie przekracza 1.7 kg (bez przewodów łączących z panelem operatora).

Kolejnym założeniem konstrukcyjnym jest symetria robota względem płaszczyzny poziomej. Cecha ta pozwala robotowi kontynuować działanie jeżeli przewróci się "na plecy" podczas jazdy po nierównościach. Docelowo robot zostanie wyposażony w dwie kamery, przednią i tylną, wraz z reflektorami diodowymi, aby umożliwić operatorowi symetryczne sterowanie jazdą w obie strony (rys. 4B).

Istotnym założeniem projektowym było także utrzymanie niskich kosztów całego robota oraz umożliwienie jego szybkiej naprawy przy użyciu jedynie prostych narzędzi. Cechy te znacząco zwiększają szansę akceptacji robota przez ratowników z GPR jako narzędzia pracy podczas typowych akcji. Jednym z czynników ograniczających koszt robota jest użycie gotowych komponentów "z półki" – w szczególności dotyczy to sterownika i sensorów. Sterownik robota oparty jest na popularnym mikrokontrolerze ATmega128 z rodziny układów AVR firmy Atmel. Zdecydowano się też na integrację komponentów robota za pomocą magistrali USB. Pozwoliło to np. na zastosowanie typowej kamery internetowej oraz cyfrowego interkomu (rys. 4C). Aby spełnić warunek łatwości napraw, robot posiada budowę modułową. Umożliwi to wyjęcie uszkodzonej części i wymianę jej na nową. Dzięki temu przedłuży się realny czas użycia robota podczas akcji. Rolę panelu operatorskiego spełniać będzie komputer klasy PC – notebook wyposażony w joystick. W razie potrzeby można zastosować komputer spełniający odpowiednie normy dotyczące pracy w trudnych warunkach.

Aby sprawdzić przyjętą koncepcję i projekt robota zdecydowano się na zbudowanie jego modelu funkcjonalnego – uproszczonego prototypu. Uproszczenia względem projektu dotyczą przede wszystkim komponentów mechanicznych, których koszt stanowi około połowy kosztu całego robota. W modelu funkcjonalnym zrezygnowano ze szczelnego kadłuba (wymaganego dla robota poszukiwawczo-ratowniczego), dobrano też typowe koła i pasy zębate gąsienic z katalogu komponentów do maszyn CNC, zamiast elementów wykonywanych na zamówienie. Pozwoliło to znacznie ograniczyć koszty (do około 1000 PLN), lecz zmusiło do pewnego zwiększenia wymiarów robota względem projektu. Do napędu robota wybrano silniki prądu stałego Bühler Motors zintegrowane z przekładnią. Charakteryzują się one dobrym stosunkiem momentu napędowego do masy (ok. 250 g) i wymiarów (długość 89mm), przy umiarkowanej cenie. Sterowanie silnikami zrealizowano za pomocą modulacji szerokości impulsu (metoda PWM). W modelu zrezygnowano też z tylnej kamery i reflektora. Z przodu umieszczono typową kamerę internetową z interfejsem USB i matrycą CMOS. Wyboru tego dokonano przede wszystkim ze względu na koszty, jednak w docelowej konfiguracji robota planowana jest kamera z matrycą CCD, która charakteryzuje się znacząco lepszymi parametrami przy niskim poziomie oświetlenia [13]. W chwili przygotowywania niniejszego artykułu sterownik robota został już uruchomiony i przetestowany, a cały model funkcjonalny znajduje się w końcowej fazie montażu.

6. WNIOSKI

W pracy poruszono zagadnienia dotyczące potencjalnej roli robotów podczas akcji ratunkowych na obszarach miejskich. Na podstawie analizy zadań stawianych robotom podczas takich akcji oraz uwarunkowań krajowego systemu ratownictwa zaproponowano zastosowanie małych robotów mobilnych jako wyposażenia Grup Poszukiwawczo-Ratowniczych. Przedstawiono projekt takiego robota. Jego model funkcjonalny znajduje się obecnie w budowie.

LITERATURA

- [1] Bednarek Z., Marciniak A., *Działania ratownicze podczas katastrof budowlanych*, Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej, Kraków, 1995.
- [2] Bruch M., Lum J., Yee S., Tran N., Advances in Autonomy for Small UGVs, *Unmanned Ground Vehicle Technology VII* (G. Gerhart *et al.*, eds.), Proc. SPIE 5804, 2005, s. 532-541.
- [3] Carlton J., Murphy R., How UGVs Physically Fail In the Field, *IEEE Trans. on Robot. and Automat.*, 21(3), 2005, s. 423-438.
- [4] Casper J., Micire M., Murphy R., Issues in Intelligent Robots for Search and Rescue, *SPIE Ground Vehicle Technology II*, 2000, s. 41-46.
- [5] Erkmen I., Erkmen A., Matsuno F., Chatterjee R., Kamegawa T., Snake Robots to the Rescue, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 9(3), 2002, s. 17-25.
- [6] Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, *Katastrofy budowlane w 2005 roku i analiza katastrof w latach 1995-2005*, Warszawa, 2006.
- [7] Granosik G., Rodzina Omni-robotów, *Postępy robotyki. Sterowanie, percepcja i komunikacja*, red. K. Tchoń, WNT, Warszawa, 2006, s. 285-296.
- [8] Inuktun, *Micro-VGTV Robot Specification*, <http://www.inuktun.com>.
- [9] iRobot, *PackBot: The Multi-Mission Tactical Mobile Robot*, <http://www.irobot.com>.
- [10] Masłowski A., Mobilne roboty specjalne, *VII Konferencja Robotyki, Prace Naukowe ICT Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław, 2001, t. 1, s. 9-21.
- [11] Micire M., *Analysis of Robotic-Assisted Search and Rescue Response to the World Trade Center Disaster*, M.S. Thesis, Univeristy of South Florida, 2002.
- [12] Puchan D., *Koncepcja i analiza wykorzystania robotów poszukiwawczo-ratowniczych podczas katastrof budowlanych*, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Poznańska, 2007.
- [13] Skrzypczyński P., An Approach to Low-cost Real-time Visual Perception in a Mobile Robot, *Proc. Automation 2004*, Warszawa, 2004, s. 403-412.
- [14] Traciński T., *Grupy poszukiwawczo-ratownicze i ich funkcjonowanie w Państwowej Straży Pożarnej na przykładzie Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej JRG nr 2 KM PSP w Nowym Sączu*, praca dyplomowa inżynierska, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa, 2000.
- [15] Tsukagoshi H., Mori Y., Sasaki M., Tanaka T., Kitagawa A., Leg-in-Rotor II: A Jumping Inspector with High Traverse-ability on Debris, *Proc. IEEE Int. Conf. on Robot. & Automat.*, New Orleans, 2004, s. 1732-1739.
- [16] Voyles R., TerminatorBot: A Robot with Dual-Use Arms for Manipulation and Locomotion, *Proc. IEEE Int. Conf. on Robot. & Automat.*, San Francisco, 2000, s. 61-66.