

Franciszek **KUCZMARSKI**
Andrzej **TYPIAK**

LEKKI ZDALNIE STEROWANY POJAZD – JAKO NOŚNIK WYPOSAŻENIA SPECJALISTYCZNEGO I UZBROJENIA

Streszczenie: W referacie dokonano skrótej oceny aktualnego stanu rozwoju bezzałogowych pojazdów lądowych (BPL). Określono główne problemy badawcze oraz przedstawiono koncepcję wykorzystania opracowanego w kraju pojazdu kołowego o dużej mobilności jako zdalnie sterowanego nośnika wyposażenia i uzbrojenia – wskazując jednocześnie, że może on ułatwić proces opracowania krajowych rozwiązań bezzałogowych pojazdów lądowych.

1. WPROWADZENIE

Nieuchronna informatyzacja pola walki – wynikająca z założeń FCS – z jednej strony a rosnące zagrożenie działaniami terrorystycznymi z drugiej, już obecnie wymusza rozwój pojazdów i maszyn realizujących swe zadanie bez bezpośredniego udziału człowieka. W zakresie rozwoju bezzałogowych maszyn i pojazdów lądowych można wyróżnić osiem podstawowych etapów różniących się zarówno ich przeznaczeniem jak też sposobem zasilania w energię oraz sterowaniem (Rys. 1). Prezentowany schemat uwidacznia zasadnicze różnice pomiędzy poszczególnymi rodzajami tych urządzeń wynikające z wymaganego rodzaju napędu i struktury systemu sterowania [3].



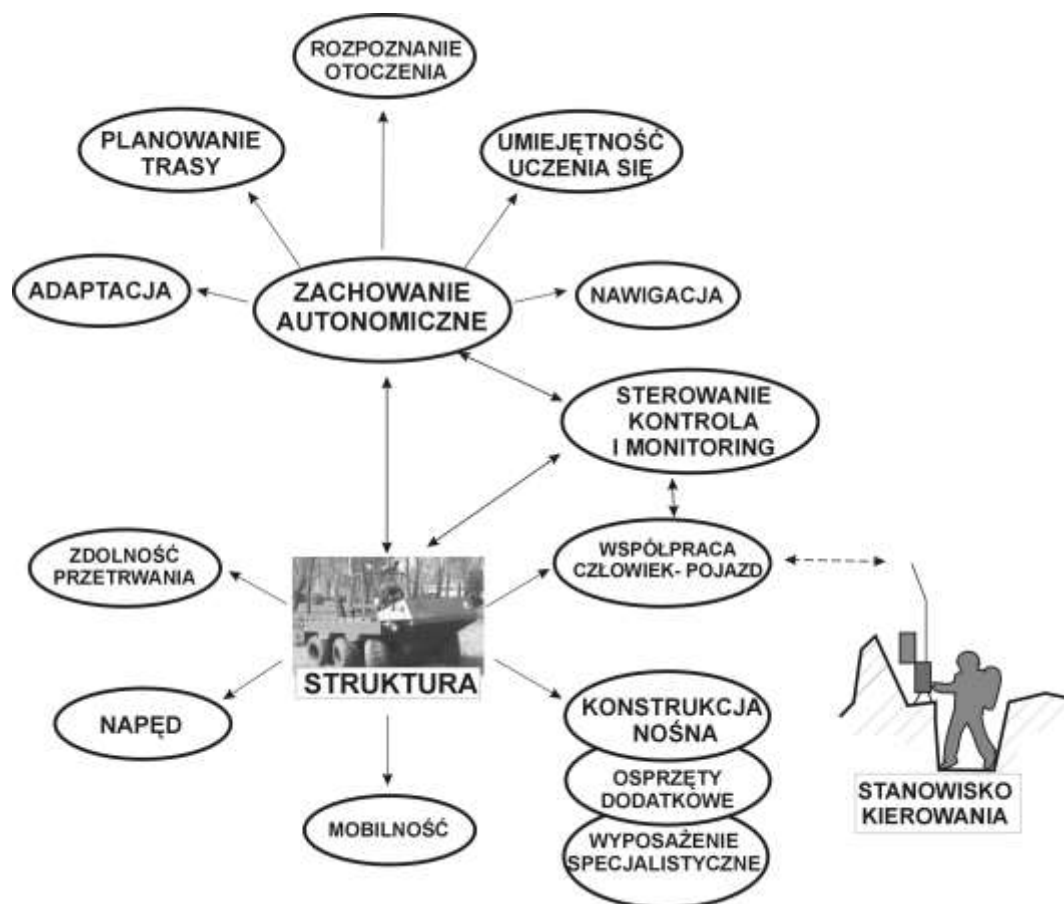
Rys. 1. Zadania, rodzaje i warianty funkcjonalne bezzałogowych maszyn i pojazdów lądowych.

Szeroką prezentację wyzwań z tej grupy wielokrotnie przedstawiał „Raport” [6,7,8], natomiast w aspekcie naukowym problematyka ta jest rozwijana w konferencyjnych publikacjach zarówno krajowych jak i zagranicznych [1,2,3,4,5]. Jednakże, wszystkie przedstawione rozwiązania należy ciągle uważać za demonstratory technologii lub prototypy

doświadczalne. Wyjątek stanowią mobilne, zdalnie sterowane roboty interwencyjno-rozpoznawcze – stosowane przez służby bezpieczeństwa (policja, oddziały antyterrorystyczne, porty lotnicze). Ich działania należy określić jako realizację ściśle określonych zadań, składających się ze stosunkowo prostych czynności – przy jednoczesnym dobrym lub bardzo dobrym rozpoznaniu otoczenia i pełnej wymianie informacji pomiędzy robotem a stanowiskiem sterowania. Trzeba wyraźnie stwierdzić, że przyszłe zadania i warunki działania dla bezzałogowych (zdalnie sterowanych lub autonomicznych) maszyn i pojazdów, daleko wybiegają poza aktualne możliwości BPL.

Ze wszystkich dziedzin techniki mających zastosowanie w BPL (Rys. 2) - największą niepewnością obarczone jest określenie jakości rozpoznania otoczenia. Wynika to z faktu, że nie są zdefiniowane zasady jej pomiaru i nie są dopracowane efektywne procedury testowania algorytmów rozpoznania otoczenia oraz zbyt mało jest badań doświadczalnych w rzeczywistych warunkach. Z tego powodu aktualnie istnieją bardzo nikłe podstawy prowadzące do optymalizacyjnego doboru struktury funkcjonalnej BPL.

Dla osiągnięcia zadowalającej autonomiczności w ich działaniu należy dokonać integracji następujących dziedzin: rozpoznania otoczenia, planowania trasy, łączności i nawigacji. Szczególny nacisk jest kładziony na rozwój prac związanych z określaniem i korygowaniem błędów w nawigacji. Na obecnym etapie rozwoju BPL planowanie trasy jest dość dobrze opracowane, rozwoju wymagają zarówno nawigacja dla kilku BPL (lub BPL i BSL) jak i określenie procedur sterowania ich współdziałaniem.



Rys. 2. Powiązania struktury mechanicznej i informatycznej BPL.

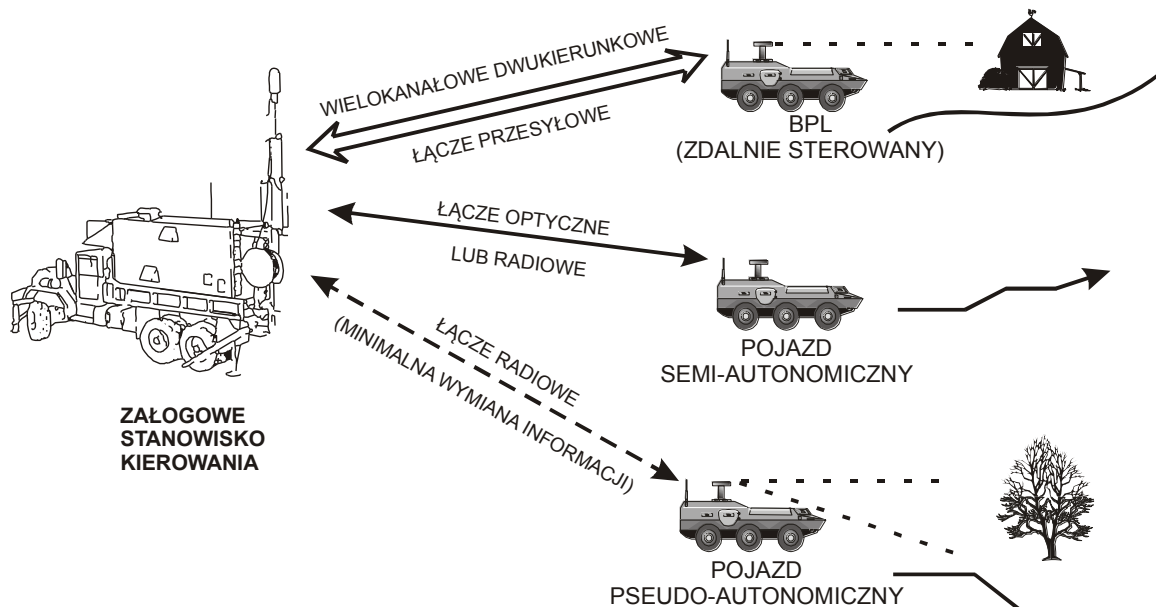
W początkowym stadium rozwoju są technologie związane z określaniem sposobów zachowania się BPL podczas pokonywania „trudnego” terenu lub prowadzenia działań w

ukryciu. Brak jest też określenia, w jakim stopniu mogą być tu adoptowane sposoby zachowania się robotów i manipulatorów przemysłowych.

Bardzo istotne dla rozwoju BPL są technologie wspierające, mające pośredni wpływ na strukturę BPL, na przykład współdziałanie operator – pojazd przy braku bezpośrednich bodźcowych sprzężeń zwrotnych. Zakres współpracy operatora z pojazdem nie ogranicza się tylko do obsługi podstawowych interfejsów Wejściowo – Wyjściowych. Obecnie wymagany jest rozwój interfejsów multimedialnych - umożliwiających operatorowi odbiór większej liczby różnorodnych bodźców.

Typ i konstrukcja mobilnej platformy zależy głównie od jej przeznaczenia a specjalnego projektowania wymagają platformy dla wielozadaniowych BPL. Na obecnym etapie rozwoju nie ma też istotnych ograniczeń dotyczących układu napędowego. Opracowania wymagają natomiast układy diagnozowania oraz konieczna redundancja układu [2]. Zaletą w projektowaniu BPL jest brak ograniczeń wynikających z wyeliminowania załogi, jednak wymaga to umieszczenia dodatkowych mechanizmów mających za zadanie wspomaganie jazdy oraz zintegrowania tych mechanizmów z układami rozpoznania otoczenia w celu zapewnienia np. możliwości omijania przeszkód terenowych i poszukiwania bezpiecznego toru jazdy.

W BPL mają zastosowanie powszechnie stosowane systemy łączności (Rys. 3) – jednak w ich przypadkach mają one znaczenie krytyczne dla bezpieczeństwa i jakości działania. Połączenie bezpośrednie i sieciowe pomiędzy stanowiskiem kierowania a BPL może być łatwo uszkodzone lub zakłócone a bezpośredni atak na BPL może doprowadzić nie tylko do zaprzestania jego działania czy jego zniszczenia, ale też do ujawnienia zasobów jego informacji.



Rys. 3. Warianty pracy bezzałogowych pojazdów lądowych.

Ważną cechą BPL jest mobilność. Oczekiwane wartości parametrów ją określających przedstawiono w kolumnie 3 tablicy 2. Dla porównania w kolumnie 5 przedstawiono parametry dla pojazdu polskiej produkcji Lewiatan 5 SR opracowanego przez firmę HYDROMEGA sp. z o.o. Gdynia (Rys. 4).

Tablica 2. Wymagania dla Bezzałogowych Pojazdów Lądowych BPL o dużej mobilności

LP.	WYSZCZEGÓLNIENIE PRZESZKÓD	JEDNOSTKI	OCZEKIWANE WARTOŚCI	PARAMETRY LEWIATANA
1	2	3	4	5
1.	Pokonywanie pni (średnice)	m	0,6 – 0,9	0,5
2.	Pokonywanie rowów	m	1 – 2	0,9
3.	Pokonywanie pionowego progu	m	0,4 – 0,6	0,45
4.	Głębokość brodzenia, m	m	1,2 – 1,5	pojazd pływający
5.	Stosunek mocy do masy	KW/t	20 – 40	32
6.	Nacisk na grunt	MPa	0,007	0,006
7.	Liczba kół	szt.	mniej niż 12	6
8.	Pochylenie pokonywanego zbocza	%	60	100
9.	Kąt przechyłu bocznego	%	40	60
9.	Zakres prędkości	km/h	1-50	0 – 50
10.	Prześwit	m	0,1 – 0,3	0,25

a)



b)



Rys. 4. Zdalnie sterowany pojazd Lewiatan 5 SG: a) podczas jazdy terenowej; b) podczas pokonywania przeszkody wodnej.

Jest to pojazd o napędzie hydrostatycznym, przeznaczony do przewozu osób, różnorodnych ładunków, wyposażenia oraz ciągnięcia przyczepy. Charakteryzuje się on dużą zdolnością pokonywania terenu a jego ważną zaletą jest możliwość pokonywania przeszkód wodnych z marszu, bez żadnych czynności przystosowawczych. Jest też przystosowany do zasilania dodatkowych urządzeń z napędem hydraulicznym. Przeprowadzone w WAT próby zaadoptowania Lewiatana jako BPL potwierdziły w pełni jego możliwości wykorzystania jako bezzałogowej platformy terenowej (demonstratora technologii) do opracowywania i testowania takich zadań jak: rozpoznawanie otoczenia, planowanie i realizowanie ruchu po określonej trasie a także wykonywanie zadań związanych z podejmowaniem i przenoszeniem niebezpiecznych ładunków, pobieraniem próbek gruntu skażonego itp.

2. STRUKTURY INFORMATYCZNE BEZZAŁOGOWYCH POJAZDÓW LĄDOWYCH

2.1. Wprowadzenie

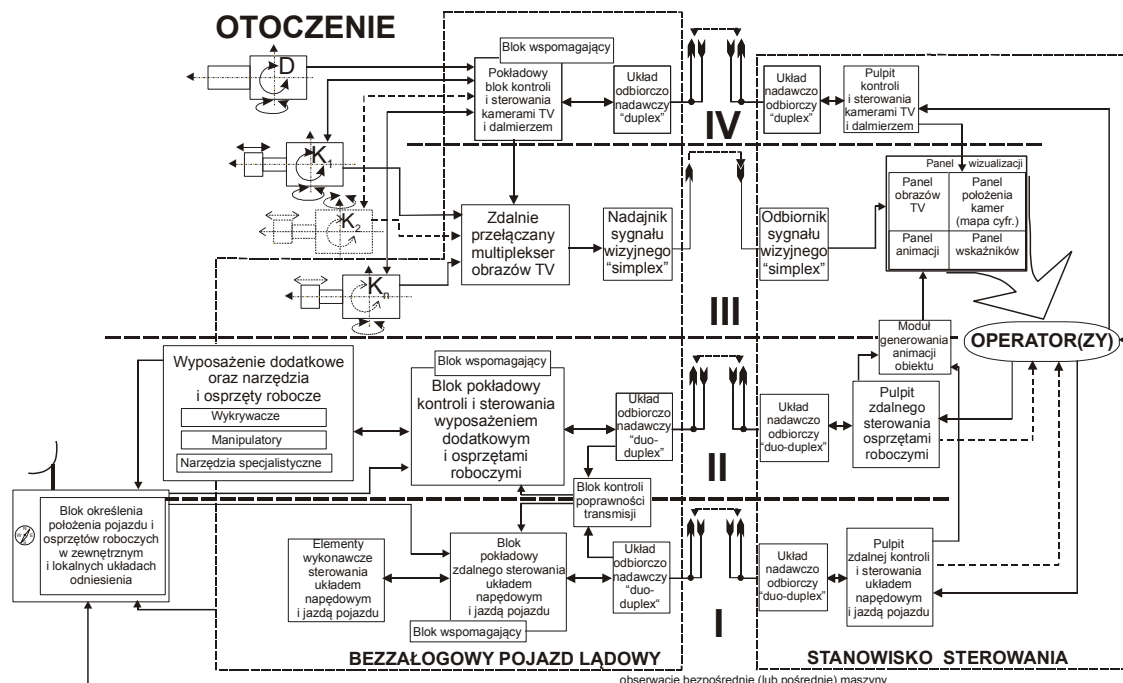
Skuteczność działania BPL w największym stopniu uzależniona jest od struktury systemu informatycznego. W zależności od zakładanego stopnia autonomiczności w działaniu BPL zmienia się stopień rozłożenia tej struktury – od rozproszonej dla pojazdów zdalnie sterowanych do skoncentrowanej w BPL – dla pojazdów o wysokim stopniu autonomiczności.

2.2. Struktura systemu zdalnego sterowania BPL z wykorzystaniem układu wizyjnego do rozpoznania otoczenia

W procesie doboru struktury i parametrów systemu wizyjnego należy wyróżnić podsystemy dla określania położenia i orientacji osprzętu roboczego oraz podsystem służący nawigacji przy manewrowaniu i jeździe pojazdu. Zagadnienia wizualizacji otoczenia muszą być powiązane z procesem geodezyjnej lokalizacji obiektu, rozpoznawaniem przeszkód oraz działaniem autonomicznym w przypadku uszkodzenia lub błędów w transmisji sygnałów.

Na podstawie analiz przebiegu procesów zdalnego sterowania pojazdami i maszynami inżynieryjnymi oraz własnych badań doświadczalnych stwierdzono, że system zdalnego sterowania powinien mieć budowę modułową i konieczne są następujące tory przepływu informacji i sygnałów sterujących (Rys. 5):

- kontroli i sterowania układem napędowym a szczególnie jazdą pojazdu;
- sterowania działaniem, położeniem wyposażenia dodatkowego oraz orientacją narzędzi i osprzętów roboczych;
- generowania i przekazywania informacji wizyjnych dla operatora oraz sterowania i kontroli działania układu wizyjnego (obserwacyjnego).



Rys. 5. Ogólna struktura systemu zdalnego sterowania BPL z wykorzystaniem systemu wizyjnego.

W torze sterowania układem napędowym i jazdą konieczne jest wprowadzenie bloku wspomagającego operatora. Jego zadaniem jest realizowanie szczegółowych procedur sterowania i kontroli parametrów – inicjowanych tylko zdalnie przez operatora oraz generowanie informacji o przebiegu ich realizacji. Dotyczy to w szczególności uruchamiania i zatrzymywania silnika napędowego i kontroli jego parametrów, zmiany przełożenia w skrzyni biegów (lub nastaw zaworów i jednostek hydraulicznych) a także sterowania prędkością obrotową wału silnika napędowego (szczególnie w przypadku znacznych zmian jego obciążenia).

Występowanie tak rozbudowanych wielotorowych torów transmisyjnych, wymaga prowadzenia prac badawczych dotyczących określenia jakości procesu przesyłania sygnałów i badania odporności torów transmisyjnych na zakłócenia.

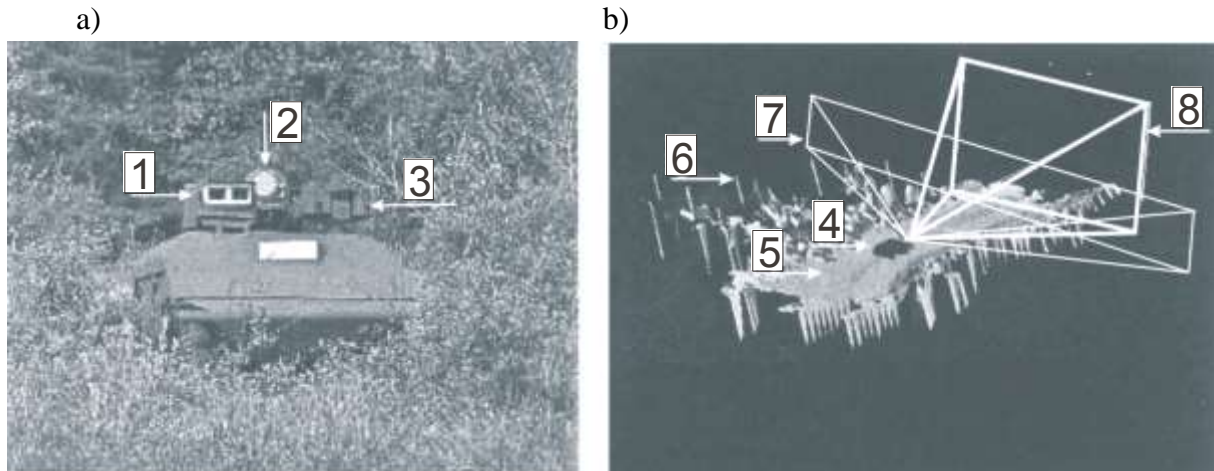
2.3. Ogólna charakterystyka systemu rozpoznania otoczenia semi- i pseudo-autonomicznych BPL

Rozwijane metody rozpoznania otoczenia BPL i ich lokalizacji można podzielić na:

1. Badanie przemieszczeń względem sztucznych znaczników aktywnych (np. ultradźwiękowych) lub pasywnych (obiekty odróżniające się od otoczenia barwą lub cechami geometrycznymi). W tym podejściu stosuje się najczęściej triangulację. Rodzajem tej metody jest GPS, ale jej dokładność i pewność – bez stosowania dodatkowych stacji naziemnych - nie jest ciągle wystarczająca dla skutecznej nawigacji autonomicznej;
2. Określanie położenia obiektu na podstawie map wektorowych lub rastrowych – w metodzie tej dane pochodzące z czujników są porównywane z danymi przechowywanymi w mapie elektronicznej i na tej podstawie określone zostaje położenie i orientacja. Podstawową wadą wymienionych powyżej metod jest to, że wcześniej musi być znana mapa otoczenia lub dokładne położenie znaczników.
3. Odometrię - w której w oparciu o nawigację zliczeniową określa się położenie obiektu. Umożliwia to dokładne określenie przemieszczeń w przypadku, gdy czas jazdy pojazdu jest relatywnie krótki a tor ruchu krzywą gładką o stosunkowo mało zmiennej krzywiznie. Podstawową wadą odometrii jest to, że trudne do oszacowania niedokładności kumulują się w czasie.
4. Metody, w których nie zakłada się wiedzy o środowisku, a pojazd na podstawie danych pochodzących z czujników znajduje cechy charakterystyczne otoczenia i określa swoje przemieszczenie względem wybranych (wykrytych) znaczników. Wybrany obiekt (znacznik) powinien posiadać cechy, które nie zależą od położenia pojazdu i jego wybór jest ściśle związany z rodzajem czujników, w jakie pojazd jest wyposażony. W przypadku, gdy otoczenie obserwowane jest za pomocą kamery będzie to obiekt o unikalnym kolorze lub kształcie, a w przypadku czujników aktywnych znacznikami mogą być ściany, naroża, lub drzwi.

Kluczowym zagadnieniem jest opracowanie skutecznego systemu rozpoznawania otoczenia pojazdu – w tym wykrywania i lokalizowania przeszkód, które mogą być dla niego niebezpieczne lub nie do pokonania. Sprzęgnięcie systemów wizyjnych z dalmierzami laserowymi a także wykorzystanie znaczników może pozwolić – poprzez agregację informacji – na stworzenie efektywnego systemu rozpoznania otoczenia BPL. Przykładem takiego rozwiązania jest układ do wyznaczania przeszkód terenowych stosowany na autonomicznym pojeździe rozpoznawczym. Składa się on z laserowego systemu skanowania terenu (LADAR), zestawu kolorowych kamer telewizyjnych oraz zestawu kamer

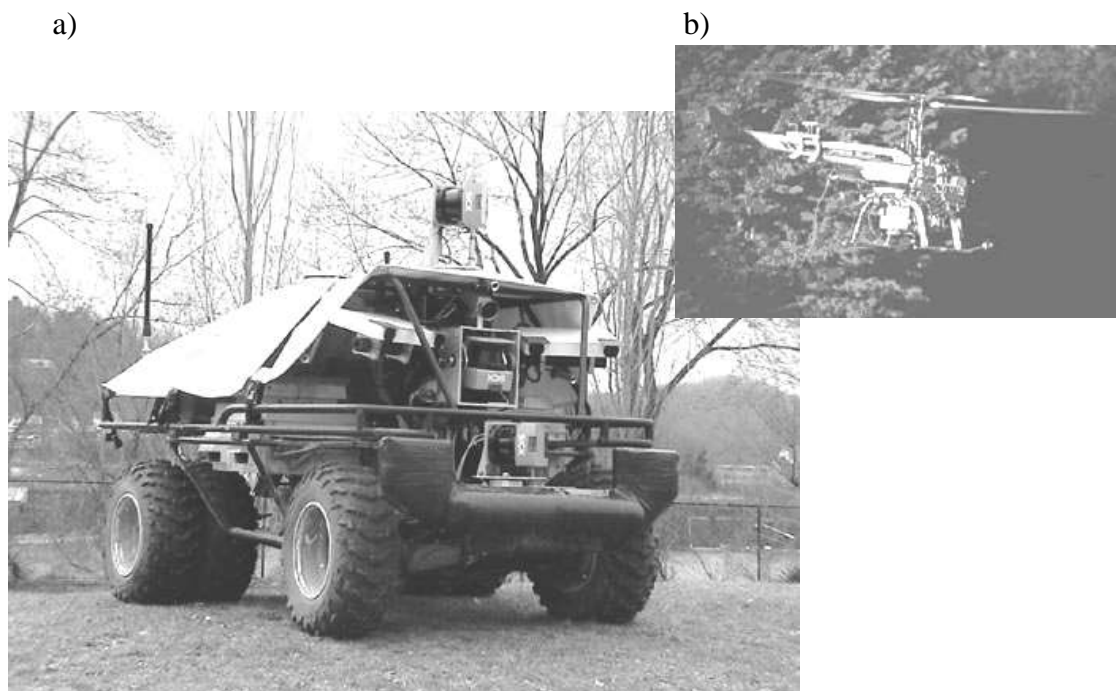
strukturalnych FLIR. Umożliwia to tworzenie modelu przestrzennego terenu, po którym przemieszcza się pojazd oraz określanie położenia przeszkód terenowych (Rys. 6). Powiązanie utworzonego modelu przestrzennego obszaru dookoła pojazdu z mapą cyfrową terenu pozwala na samodzielne autonomiczne poruszanie się pojazdu.



Rys. 6. Bezzałogowy pojazd rozpoznawczy (a) i model przestrzenny otoczenia (b):

1 – stereowizyjny zestaw kamer kolorowych; 2 – LADAR; 3 – stereowizyjny układ kamer FLIR; 4 – pojazd; 5 – droga przejazdu; 6 – teren nie rozpoznany; 7 – zakres obserwacji kamer; 8 – zakres obserwacji systemu laserowego.

Inne podejście zastosowano w programie PerceptOR (Rys. 7). Do wspomagania BPL zastosowano Bezzałogowy Środek Latający (BSL) – przekazujący informację o trasie, po której poruszał się będzie pojazd. Powinno to zapewnić skuteczne wykrywanie przeszkód, efektywne planowanie optymalnej drogi przemieszczania się pojazdu a także zapewnić wzrost jego prędkości.



Rys. 7. Semiautonomiczny BPL opracowany w ramach programu PerceptOR:

a) pojazd lądowy; b) bezzałogowy środek latający („Latające Oko” – „Flying Eye”).

3. PODSUMOWANIE, OKREŚLENIE ZADAŃ BADAWCZYCH W OBSZARZE ROZWOJU BPL

W zależności od założonych dla BPL zadań należy się liczyć z koniecznością opracowania kilku różniących się strukturą funkcjonalną i informatyczną pojazdów (Rys. 1).

Ważnym zadaniem badawczo – konstrukcyjnym jest opracowanie osprzętów roboczych, narzędzi i wyposażenia specjalistycznego – pozwalającego na bezpośrednią realizację różnych funkcji technologicznych przy zdalnym lub autonomicznym sterowaniu ich przebiegiem.

Kluczowym problemem pozostaje jednak opracowanie skutecznego systemu rozpoznania otoczenia – opartego o agregację informacji z różnych źródeł. Zrealizowanie tego zadania wymaga sprzężenia osiągnięć optoelektroniki i informatyką i telekomunikacją.

Przedstawione rozwiązanie zdalnie sterowanego pojazdu kołowego „Lewiatan”, może stanowić bazę dla szerokiej gamy prac w problematyce rozwoju bezzałogowych pojazdów tej klasy. Pojazd ten może być też protoplastą części lądowej przyszłościowego systemu pola walki (FCSs), a także być ważnym ogniwo w walce z terroryzmem (DaT) – szczególnie jako nośnik urządzeń wykrywających i neutralizujących zagrożenia.

4. LITERATURA

- [1] BARTNICKI A., KUCZMARSKI F., TYPIAK A., WRONA J.: *Design control and power transmission unit for unmanned ground vehicles (UGV)* 8th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics Szczecin, 2-5 Wrzesień 2002.
- [2] BARTNICKI A., KUCZMARSKI F., PRZYCHODZIENI T., TYPIAK A., WRONA J.: *Remote Control of Machines for Removal of Damages Being Results of Disasters, Wars, and Terrorist Attacks* 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction Gaithersburg, MD September 2002.
- [3] KONOPKA S., KUCZMARSKI F., TYPIAK A.: Systemy zdalnego sterowania i układy wizyjne w bezzałogowych pojazdach lądowych, VIII Międzynarodowe Sympozjum IPM, Warszawa-Rynia 11-13 grudzień 2002.
- [4] KUCZMARSKI F., SIEMIĄTKOWSKA B., TYPIAK A.: *A Multi-element System of Surrounding Recognition and Objects Localization for Unmanned Ground Vehicles* 209th International Symposium on Automation and Robotics in Construction Eindhoven, Holland September 2003.
- [5] KUCZMARSKI F., TYPIAK A., ZIENOWICZ Z.: Problematyka rozpoznania otoczenia dla zdalnie sterowanego pojazdu o napędzie hydraulicznym, IX Seminarium Napędy i Sterowanie, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2003.
- [6] KLOBUCH K.: Czy możliwy jest europejski FCS, RAPORT Wojsko Technika Obronność, Nr 6/02 2002
- [7] LIKOWSKI M., ŁUCZAK W., ZALOGA S.: Armia czasów wojny i transformacji, RAPORT Wojsko Technika Obronność, Nr 11/03 2003.
- [8] ŁUCZAK W.: Sekrety francuskiego FCS, RAPORT Wojsko Technika Obronność, Nr 10/03 2003.
- [9] KENYON H.S.: Paving the Way for Network-Centric Operations, European SIGNAL, September 3003.
- [10] LAWLOR M.: Racing Toward Robotics, SIGNAL AFCEA's International Journal, May 2004.
- [11] LAWLOR M.: Perception Guides the Future of Automatons, SIGNAL AFCEA's International Journal, May 2004
- [12] DAVID A.: From Cyberspace to Battlespace, Military Technology, Nr 12/2003.
- [13] Out Front in Harm's Way, The US Unmanned Ground Vehicles Programme, Military Technology, Nr 12/2003.