

Adam BARTNICKI¹
Rafał TYPIAK²

OKREŚLENIE PARAMETRÓW ROBOCZYCH MANIPULATORA ROBOTA WSPARCIA INŻYNIERYJNEGO

Na stanowisku badawczym Katedry Budowy Maszyn dokonano pomiarów parametrów roboczych manipulatora zaprojektowanego dla zdalnie sterowanego robota wsparcia inżynierskiego. Określono wartości najistotniejszych parametrów z punktu widzenia realizacji zadań w misjach EOD/IOD. Pomiary przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych i poligonowych. Uzyskane wyniki potwierdziły słuszność założeń konstrukcyjnych i możliwości robocze robota wsparcia inżynierskiego.

DETERMINING WORK PARAMETERS OF THE ENGINEERING SUPPORT ROBOT'S ROBOTIC ARM

Using a research station developed in the Machine Building Division of the Military University of Technology work parameters of a robotic arm created for the remotely controlled engineering support robot had been mapped. Values for all important parameters had been determined when carrying out EOD/ IED missions. Additional tests had been carried out in the field. Both series had confirmed correctness of the design intents and working capabilities of the engineering support robot.

1. WSTĘP

Jednym z dominujących kierunków rozwoju uzbrojenia i sprzętu wojskowego jest robotyzacja - wprowadzenie systemów bezzałogowych zdolnych do realizacji różnorodnych zadań operacyjnych bez bezpośredniego zaangażowania ludzi. W przypadku bezzałogowych platform lądowych BPL ich podstawowym zadaniem jest zwiększenie dystansu dzielącego żołnierza od zagrożenia, mającego na celu minimalizację strat czynnika ludzkiego.

W tym celu trzeba jednak wyposażyć BPL w manipulator o odpowiedniej strukturze kinematyki połączonej z systemem intuicyjnego sterowania oraz teleoperacji. Biorąc pod uwagę różnorodne wymagania jakie stawiają misje EOD/IED pożądanym jest, aby

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, 00-908 Warszawa, ul.gen. S.Kaliskiego 2, abartnicki@wat.edu.pl

² Wojskowa Akademia Techniczna, 00-908 Warszawa, ul.gen. S.Kaliskiego 2, rtypiak@wat.edu.pl

realizujący je robot dysponował manipulatorem nowej generacji o możliwie jak najmniejszej liczbie stopni swobody i odpowiednich parametrach roboczych.

W referacie przedstawiono wyniki pomiarów siły udźwigu manipulatora i uciążu robota wsparcia inżynierskiego dla potrzeb realizacji zadań w misjach EOD/IED.

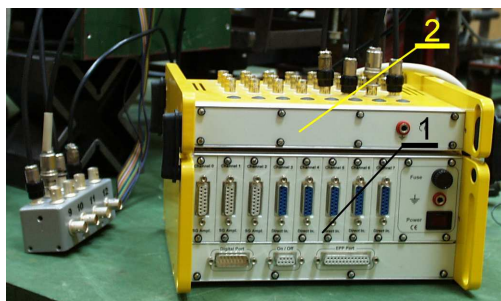
2. POMIARY SIŁ UCIĄGU I UDŹWIGU MANIPULATORA ROBOTA WSPARCIA INŻYNIERYJNEGO

Pomiary maksymalnego udźwigu manipulatora robota wsparcia inżynierskiego dla różnych wsięgow, przeprowadzono na stanowisku badawczym w Katedrze Budowy Maszyn WAT (rys.1). Układ pomiarowy zbudowano w oparciu o czujnik siły CL-14d (1-rys.1) wyposażony w układ wzmacniający CL 71 (2-rys.1) firmy ZEPWN. Dodatkowo siłę udźwigu mierzono z wykorzystaniem dynamometru 9016 APU-20-2-U2 (3-rys.1). Wyniki badań rejestrowano z wykorzystaniem systemu akwizycji danych ESAM TRAVELLER Plus – rys.2.

Wartości sił udźwigu manipulatora określono zarówno dla różnych wsięgow jak również dla różnych konfiguracji osprzętu roboczego dla tego samego wsięgu. Na rys. 3 przedstawiono przykładowe konfiguracje manipulatora dla wsięgu 2100 mm. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 1, a na rys.4 wybraną charakterystykę udźwigu.



Rys.1. Stanowisko badawcze do pomiaru siły udźwigu manipulatora robota wsparcia inżynierskiego (opis w tekście)



Rys.2. System pomiarowy ESAM Traveller Plus na stanowisku badawczym: 1 - moduł bazowy, 2 - moduł rozszerzeń

a)








b)






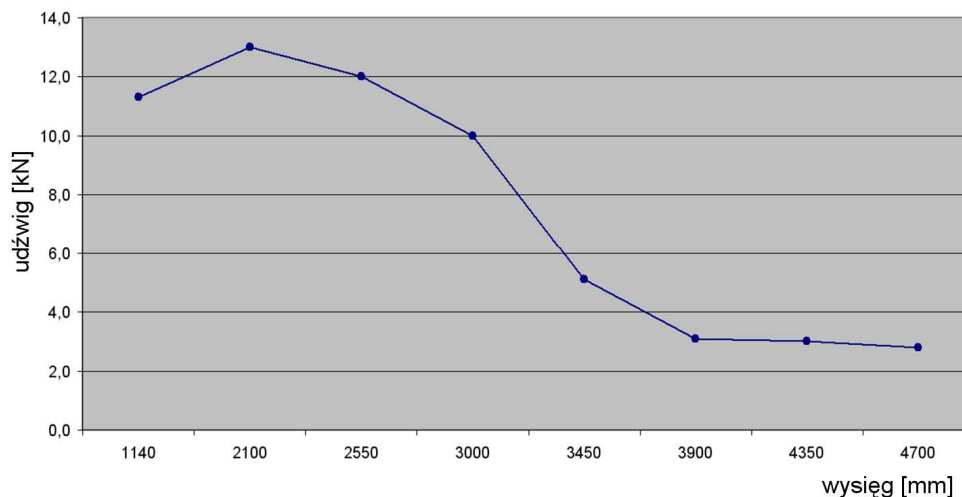
Rys. 3. Przykładowe konfiguracje manipulatora dla wsięgu 2100 mm

Tabela 1. Wartości udźwigu osprzętu roboczego robota wsparcia inżynierskiego w funkcji zasięgu manipulatora

Lp.	Konfiguracja manipulatora	Wysięg [mm]	Siła udźwigu [kN]
1.		1140	11,3
2.		2100	13,0
Lp.	Konfiguracja manipulatora	Wysięg [mm]	Siła udźwigu [kN]
3.		2100	5,0

4.		2550	12,0
5.		3000	10,0

Lp.	Konfiguracja manipulatora	Wysięg [mm]	Siła udźwigu [kN]
6.	 A blue industrial robot arm is shown in a workshop setting. The arm is extended horizontally to the left, with its gripper open. The base is a blue metal structure on a wooden floor.	3450	5,1
7.	 A blue industrial robot arm is shown in a workshop setting. The arm is extended horizontally to the left, with its gripper open. The base is a blue metal structure on a wooden floor.	3900	3,1
8.	 A blue industrial robot arm is shown in a workshop setting. The arm is extended horizontally to the left, with its gripper open. The base is a blue metal structure on a wooden floor.	4700	2,8



Rys.4. Charakterystyka udźwigu manipulatora robota wsparcia inżynierskiego

Wyniki badań potwierdziły zdolność manipulatora do podnoszenia ładunków o masie 250 kg dla maksymalnego wysięgu 4700 mm i możliwość rozwijania sił udźwigu rzędu 13 kN dla wysięgu 210 mm i optymalnej konfiguracji osprzętu roboczego.

Przeprowadzone badania stanowiskowe pozwoliły na wyznaczenie maksymalnych wartości sił udźwigu manipulatora z punktu widzenia jego kinematyki i parametrów hydrostatycznego układu napędowego, bez uwzględnienia stateczności pojazdu.

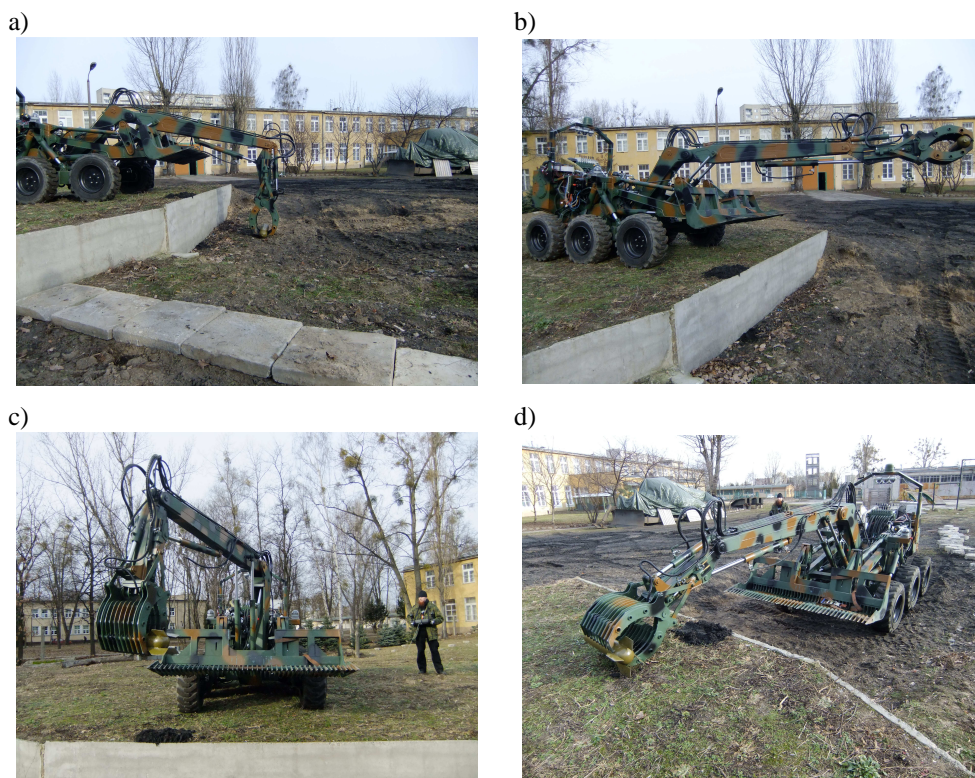
Dlatego w kolejnym etapie przeprowadzono badania poligonowe możliwości roboczych manipulatora w aspekcie stateczności pojazdu. W ramach tych badań podejmowano i przemieszczano ładunek o masie ok. 200 kg dla różnych konfiguracji osprzętu i położen robota względem podnoszonego ładunku (rys.5).

Przeprowadzone testy poligonowe zdolności podejmowania i przemieszczania ładunków nominalnych przy wysięgach bliskich maksymalnym powodują niewielkie przechyły pojazdu, wynikające z ugięcia ogumienia układu jezdnego - niemniej jednak stateczność pojazdu zostaje zachowana. Potwierdza to możliwość realizacji zadań z wykorzystaniem manipulatora na dużych wysięgach bez konieczności podpierania robota ażurową łyżką, co jednoznacznie skraca czas realizowanej misji. W przypadku zadań załadunkowo-rozładunkowych na małych wysięgach i obciążeniach przekraczających 10 kN wskazanym jest podparcie robota łyżką, która zapewni mu odpowiedni zapas stateczności.

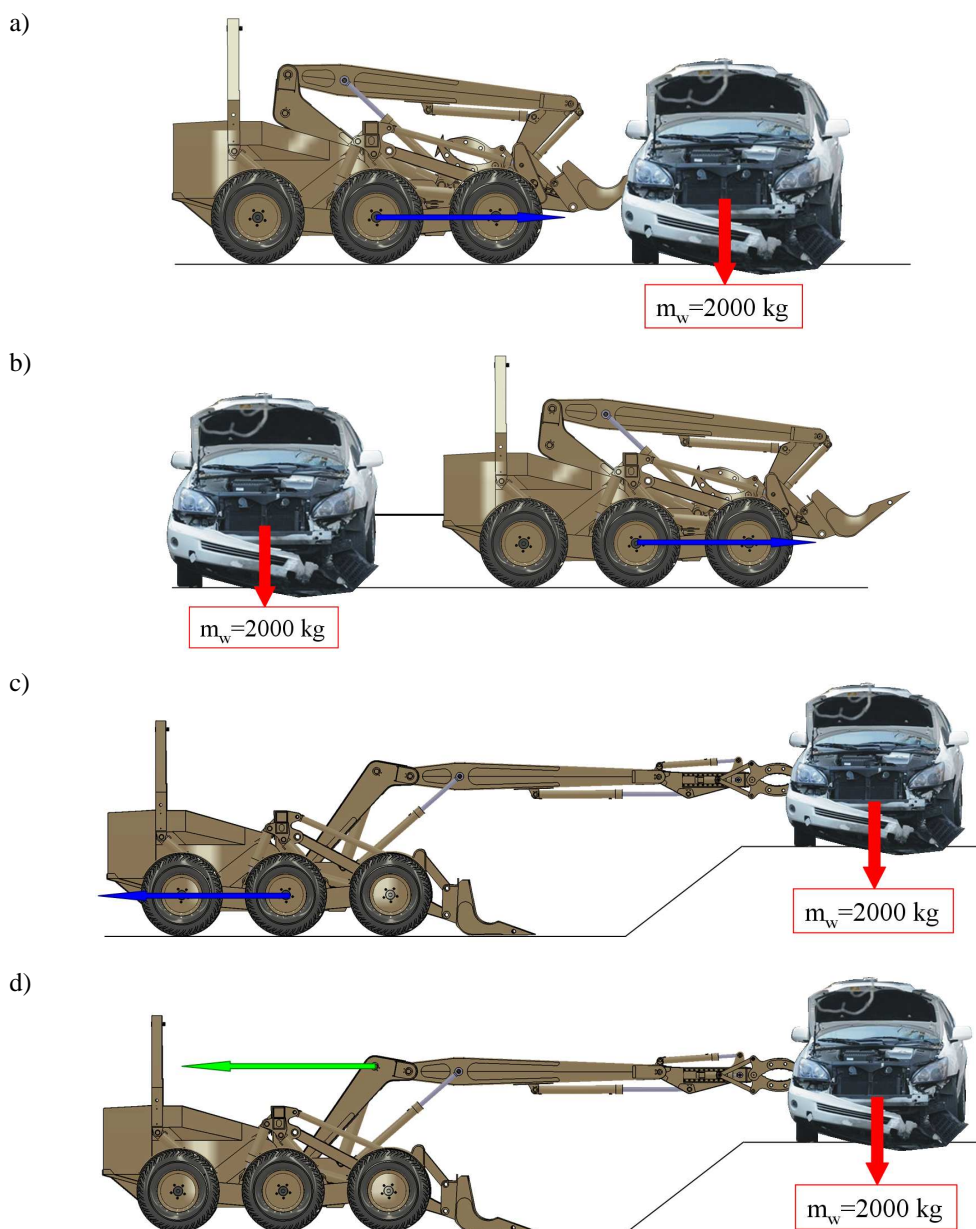
Innym charakterystycznym zadaniem dla robota wsparcia inżynierskiego jest usuwanie z drogi przemarszu porzuconych pojazdów, które mogą być potencjalnymi pułapkami IED lub uszkodzonych pojazdów własnych, które unieruchomione wymuszają zatrzymanie kolumny, zwiększając jej ekspozycję na działania przeciwnika (rys.6).

Realizacja tego typu zadań wymaga dysponowaniem odpowiedniej siły uciągu robota. Dla potrzeb określenia możliwości ewakuacyjnych robota wsparcia inżynierskiego, w zadaniach usuwania przeszkód na drogach przemarszu, dokonano pomiaru jego siły uciągu w różnych warunkach terenowych z wykorzystaniem kilku sposobów usuwania przeszkód.

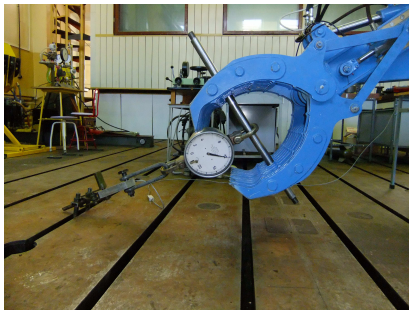



Badania przeprowadzono dwuetapowo. W pierwszej kolejności dokonano pomiaru siły uciążu rozwijanej przez osprzęt roboczy na stanowisku badawczym. W tym przypadku wartość siły wynikała z możliwości kinematycznych i parametrów hydrostatycznego układu napędowego. Podobnie jak w przypadku pomiarów siły udźwigu, badania przeprowadzono dla różnych konfiguracji manipulatora, przy czym siła uciążu wywoływana była jedynie działaniem siłownika wypadu (rys.7).



Rys.5. Badania poligonowe możliwości roboczych manipulatora w aspekcie stateczności pojazdu: a, b) podnoszenie ładunku z zagłębienia w terenie (rowu melioracyjnego), c) podnoszenie ładunku i przemieszczanie z wykorzystaniem obrotnicy, d) podnoszenie ładunku ze wzniesienia



Rys.6. Sposoby ewakuacji samochodów pułapek i uszkodzonego sprzętu z drogi przemarszu kolumny z wykorzystaniem robota wsparcia inżynierskiego

Konfiguracja manipulatora		Siła uciągu
		20,1[kN]
		25,9[kN]

Rys.7. Pomiar siły uciągu manipulatora na stanowisku badawczym



W kolejnym etapie badań dokonano pomiaru siły uciągu robota w warunkach terenowych z uwzględnieniem różnych sposobów ewakuacji pułapek IED i uszkodzonego sprzętu. Wyznaczono wartości siły uciągu robota na linii holowniczej dla podłoża betonowego i gruntu (rys.8), dla różnych wartości siły napędowej na kołach pojazdu i różnych konfiguracji osprzętu roboczego.

Uzyskane wartości siły uciągu rzędu 25 kN potwierdziły założone zdolności ewakuacyjne robota w procesie holowania sprzętu na ciągnie za pojazdem. Maksymalna wartość siły uciągu wynikała w tym przypadku z utraty przyczepności układu jezdnego pojazdu, natomiast sam układ napędowy dysponował odpowiednim zapasem mocy, pozwalającym na rozwinięcie wyższych wartości siły.

Następnie dokonano pomiaru siły uciągu w przypadku holowania uszkodzonego sprzętu przed robotem. Dokonano pomiaru siły uciągu na podłożu gruntowym (rys.9) i betonowym, uzyskanej z wykorzystaniem siły napędowej układu jezdnego i manipulatora robota, przy czym proces holowania (przyciągania) uszkodzonego sprzętu manipulatorem realizowany był siłownikiem wypadu. Dla podłoża betonowego uzyskano odpowiednio wartość siły uciągu przy holowaniu manipulatorem 21,9 kN i 19,5 kN dla holowania z wykorzystaniem siły napędowej pojazdu. I w tym przypadku maksymalna wartość siły uciągu wynikała z utraty przyczepności układu jezdnego robota.

Pomiar siły uciągu na podłożu betonowym		Siła uciągu
		25,8 [kN]
Pomiar siły uciągu na podłożu gruntowym		Siła uciągu
		26,4 [kN]

Rys.8. Pomiar siły uciągu robota na linie holowniczej (opis w tekście)

Pomiar siły uciągu na podłożu gruntowym uzyskanej z wykorzystaniem siły napędowej robota	Siła uciągu
	22,4 [kN]
Pomiar siły uciągu na podłożu gruntowym uzyskanej z wykorzystaniem manipulatora robota	Siła uciągu
	23,8 [kN]

Rys.9. Pomiar siły uciągu robota w procesie holowania przed pojazdem (opis w tekście)

Dla sprawdzenia możliwości holowania uszkodzonych pojazdów, dodatkowo przeprowadzono próbę praktycznego holowania pojazdu kołowego o masie ok. 3000 kg (rys.10).



Rys.10. Próba holowania pojazdu kołowego o masie ok. 3000 kg przed robotem

4. WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań i przeprowadzone pomiary potwierdziły bardzo dobre właściwości robocze robota wsparcia inżynierskiego, zarówno w zadaniach podnoszenia i przemieszczania ładunków, jak i w operacjach ewakuacyjnych. Rozwijana siła uciągu pozwala na ewakuację, usuwanie, wyciąganie, spychanie typowych przeszkód, które mogą pojawić się na drogach przemarszu wojsk. Różny sposób podejścia do przeszkody, możliwość wykorzystania łyżki ażurowej rozszerza zakres realizowanych procesów roboczych.

Przeprowadzone próby podnoszenia ładunku o masie 200 kg pokazały, iż pojazd dysponuje odpowiednim zapasem stateczności i z powodzeniem może realizować zadania podnoszenia ładunków zarówno z podłoża, wzniesień jak i rowów przydrożnych, a zastosowanie obrotnicy osprzętu roboczego pozwala na precyzyjne operowanie chwytakiem bez konieczności zmiany położenia pojazdu względem podnoszonego ładunku.

Możliwość zablokowania siłowników hydraulicznych sześciokołowego zawieszenia robota wsparcia inżynierskiego powoduje, że podwozie w czasie realizacji prac przy maksymalnym wysięgu i nominalnym obciążeniu zachowuje się stabilnie, a niewielkie wahania maszyny wynikają z właściwości elastycznych kół ogumionych. Zjawisko to

można wyeliminować poprzez podparcie robota w czasie realizowanych zadań ażurową tyżką ładowarkową.

Kinematyka skonstruowanego manipulatora pozwala na podejmowanie ładunków o masie do 280 kg z odległości 470 mm licząc od osi obrotu nadwozia i masie 1300 kg przy optymalnej konfiguracji osprzętu roboczego i wysięgu 210 mm. Wykorzystanie typowego osprzętu koparkowego koparki K-161 dało możliwość podnoszenia elementów z maksymalnej odległości 380 mm.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bartnicki A. Sprawka P.: *Systemy przeciwdziałania zagrożeniom IED w transporcie wojskowym*, LOGISTYKA 6/2009
- [2] Bartnicki A., Typiak A.: *Stanowisko do badań hydrotronicznych układów napędowych pracujących w systemie CAN-bus*, „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (23)” nr 1/2008
- [3] Bartnicki A., Rubiec A.: *Magistrala CAN w systemach sterowania maszyn i pojazdów wojskowych*, LOGISTYKA 6/2010
- [4] Bartnicki A., Typiak A.: *Możliwości i ograniczenia wykorzystania magistrali CAN w systemach sterowania robotami mobilnymi*, LOGISTYKA 6/2010
- [5] Bartnicki A., Typiak A., Typiak R.: *Magistrala CAN w systemie zdalnego sterowania platformą bezzałogową wysokiej mobilności*, „Zastosowania magistrali CAN w technice wojskowej i cywilnej”, Ustroń-Jaszowiec 2010
- [2] Konopka S.: *Podstawy budowy i eksploatacji maszyn inżynieryjno-budowlanych*, Wydawnictwo WAT, Warszawa 2002.
- [3] Kuczmarski F., Typiak A.: *Lekki zdalnie sterowany pojazd – jako nośnik wyposażenia specjalistycznego i uzbrojenia. Polska wizja przyszłego pola walki*, OBRUM, Warszawa 2004.
- [6] Stryczek S.: *Napęd hydrostatyczny tom I*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2005.
- [7] Szydelski Z.: *Napęd i sterowanie hydrauliczne w pojazdach i samojezdnych maszynach roboczych*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1980.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008/2011, jako projekt rozwojowy Nr: OR 00 0012 06