

ZBROWSKI Andrzej, JÓŹWIK Wojciech

BADANIA WERYFIKACYJNE MODUŁOWEGO SYSTEMU DO ZWALCZANIA PAR SUBSTANCJI NIEBEZPIECZNYCH

Streszczenie

W artykule opisano proces badań weryfikacyjnych demonstratora technologii modułowego bezzałogowego pojazdu ratowniczego przeznaczone do zwalczania par substancji niebezpiecznych. Elementami wchodzącymi w skład systemu są: sześciokołowe podwozie, moduł likwidacji skażeń, moduł aplikowania sorbentów, system łączności, detektor skażeń.

Badania weryfikacyjne podzielono na cztery etapy: sprawdzenie elementów wchodzących w skład systemu, próby stacjonarne, próby jezdne (w warunkach drogowych i terenowych) oraz testowanie elementów wykonawczych. Opisano problemy rozwiązane podczas prób stacjonarnych. Próby terenowe przeprowadzono z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury przeznaczonej do badania samochodów w warunkach dynamicznych. Zarejestrowano charakterystyki prędkości obrotowej kół oraz przyspieszenia w funkcji czasu. W ramach testowania układów wykonawczych sprawdzono działanie działka wodno-pianowego, aplikatora sorbentów oraz układu regulacji prześwitu.

1. PRZEDSTAWIENIE PROBLEMU

Pojazd bezzałogowy „STRAŻAK” (Rys. 1) jest przeznaczony do zwalczania par substancji niebezpiecznych za pomocą środka neutralizującego w postaci płynnej i stałej [3]. Wysoki stopień złożoności oraz innowacyjny charakter zastosowanych rozwiązań prototypowych uniemożliwiają skuteczne prognozowanie wszystkich problemów na etapie projektu [7,8,10].



Rys. 1 Bezzałogowy pojazd ratowniczy.

Źródło: Kolekcja autora

Celem przeprowadzonych badań była weryfikacja prototypowych rozwiązań konstrukcyjnych, oraz eliminacja usterek. Weryfikację przeprowadzono z zastosowaniem opracowanej

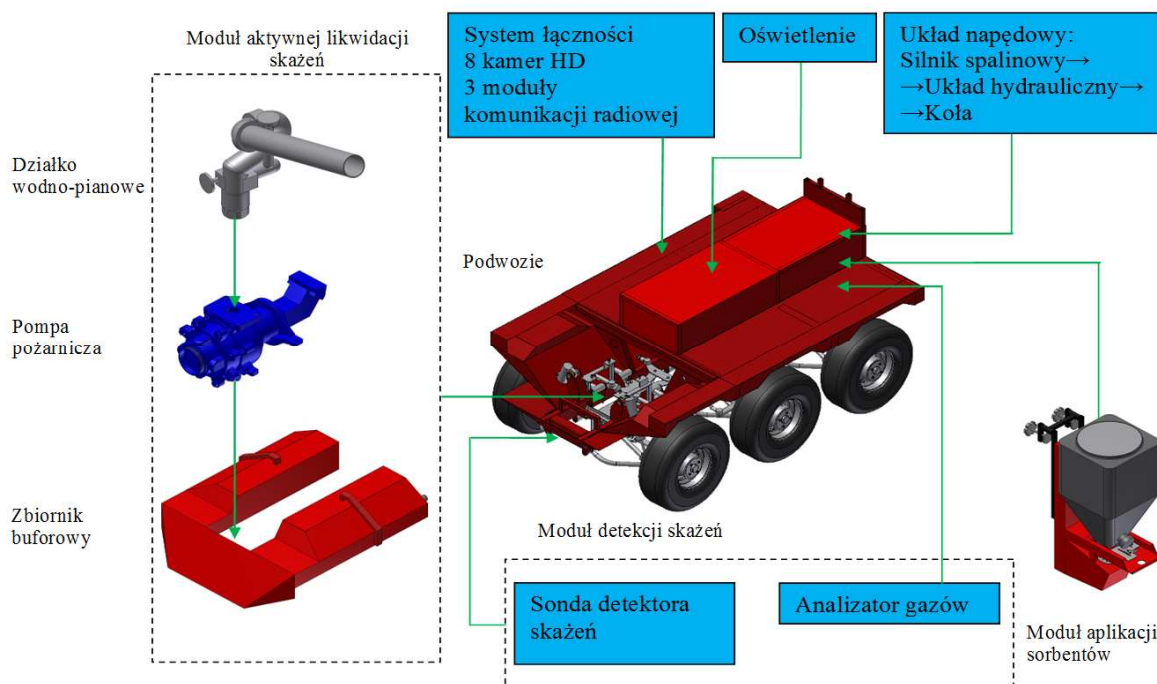
metodyki badania prototypu. Badania zostały podzielone na następujące etapy: testowanie elementów składowych pojazdu, próby stacjonarne, próby jezdne, badanie układów wykonawczych.

Artykuł opisuje badania demonstratora technologii zbudowanego w wyniku projektu rozwojowego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju realizowanego przez konsorcjum: firmy Hydromega, Instytutu Technologii Eksploatacji, Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej, Wojskowej Akademii Technicznej oraz Wojskowego Instytutu Chemii i Radiometrii.

2. OPIS POJAZDU

Pojazd składa się z modułów umieszczonych na sześciokołowym podwoziu. Struktura systemu została pokazana na rysunku 2. Platforma jest napędzana przez układ hydrauliczny zasilany przez silnik wysokoprężny. Modułami umieszczonymi na platformie są:

- układ likwidacji skażeń,
- moduł aplikacji sorbentów,
- system łączności,
- moduł detekcji skażeń.



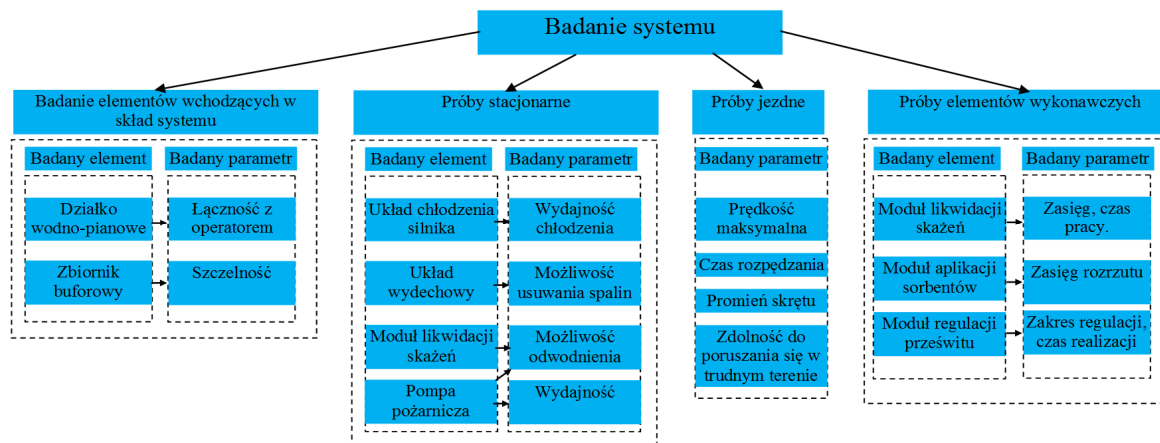
Rys. 2 Struktura modułowego bezzałogowego pojazdu ratowniczego.

Źródło: Opracowanie autora

Moduł likwidacji skażeń składa się ze zbiornika, pompy pożarniczej oraz działka wodno-pianowego. Uzupełnianie wody podczas akcji ratowniczej jest realizowane dzięki przyłączu umieszczonemu w tylnej części pojazdu. W celu aplikacji sorbentów wykorzystano urządzenie umieszczone w tylnej części demonstratora. Łączność jest zapewniona przez system nadawczo-odbiorczy wykorzystujący osiem kamer HD umożliwiających panoramiczną obserwację otoczenia. Detekcja skażeń jest realizowana przez moduł składający się z sondy oraz analizatora gazów.

3. METODYKA BADAŃ PROTOTYPU

Metodyka opracowana w celu weryfikacji prototypu pojazdu bezzałogowego (Rys. 3) uwzględnia podział badań na cztery etapy. Pierwszym etapem jest sprawdzenie funkcji elementów wchodzących w skład systemu. Testom poddano funkcje możliwe do sprawdzenia przed montażem na platformie. W drugim etapie sprawdzono funkcjonowanie elementów wchodzących w skład systemu. Druga faza badań była ograniczona do funkcji nie wymagających długotrwałego poruszania się pojazdu. Kolejnym stadium weryfikacji prototypu były próby jezdne przeprowadzone w warunkach drogowej i terenowych. Ostatnim etapem weryfikacji było sprawdzenie działania elementów wykonawczych.

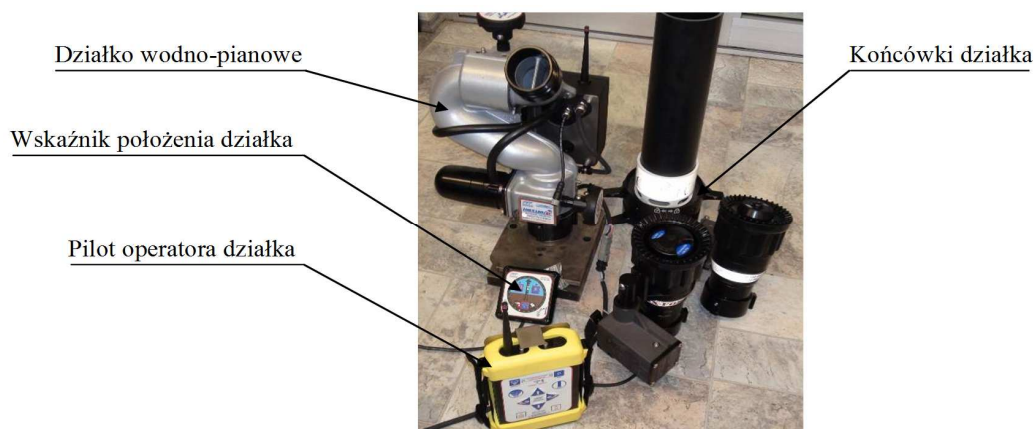


Rys. 3 Metodyka badania prototypu.

Źródło: Opracowanie autora

4. PRÓBY ELEMENTÓW WCHODZĄCYCH W SKŁAD SYSTEMU

W pierwszej kolejności sprawdzono działanie elementów możliwych do testowania przed instalacją na platformie pojazdu. Testowanymi elementami były działko wodno-pianowe oraz zbiornik buforowy. Weryfikacja działka (Rys. 4) polegała na sprawdzeniu komunikacji pomiędzy elementami wchodzącymi w skład układu. Wyznaczono maksymalny zasięg łączności działka z pilotem. Dodatkowo wyznaczono parametry istotne dla działań ratowniczych (kroplistość oraz zasięg). Weryfikacja zbiornika buforowego polegała na sprawdzeniu szczelności.



Rys. 4 Sprawdzane elementy działka wodno-pianowego

Źródło: kolekcja autora

5. PRÓBY STACJONARNE

Próby przeprowadzono w celu sprawdzenia zamontowanych elementów systemu bez konieczności długotrwałego poruszania się pojazdu. Badanymi elementami były układ napędowy oraz moduł likwidacji skażeń.

Podczas badań stwierdzono przegrzewanie się jednostki napędowej. Przyczyną był niedostateczny przepływ powietrza w przedziale silnikowym. Problemem do rozwiązania było zapewnienie właściwej cyrkulacji powietrza i ochrony przedziału silnikowego przed wpływem opadów atmosferycznych. Usterkę wyeliminowano dzięki zastosowaniu zmodyfikowanej osłony górnej. Pierwotna osłona była wykonana w formie blachy bez otworów wentylacyjnych. W zmodernizowanym rozwiązaniu (Rys. 5) zastosowano dwa równoległe kołnierze nachylone pod kątem 45°. Szczelina pomiędzy kołnierzami umożliwia przepływ powietrza potrzebnego do chłodzenia przedziału silnikowego. Opracowane rozwiązanie zapewnia ochronę zespołów pojazdu przed wpływem opadów atmosferycznych.



Rys. 5 Osłona a – przed modernizacją; b – po modernizacji

Źródło: kolekcja autora

Następnie badaniom został poddany układ wydechowy silnika. Umieszczenie rury wydechowej pod podwoziem uznano za niekorzystne ze względu na możliwość zalania układu podczas brodenia. W ramach modernizacji konieczne było rozcięcie i ponowne zesparanie elementów konstrukcyjnych tłumika (Rys. 6). Operację wykonano ze względu na konieczność wyprowadzenia przewodu wydechowego na burtę pojazdu. Spaliny wyprowadzono na burtę pojazdu, za pomocą stalowej rury elastycznej zamocowanej do konstrukcji za pomocą opasek hydraulicznych. (Rys. 7)



Rys. 6 Tłumik poddany modyfikacji

Źródło: Kolekcja autora

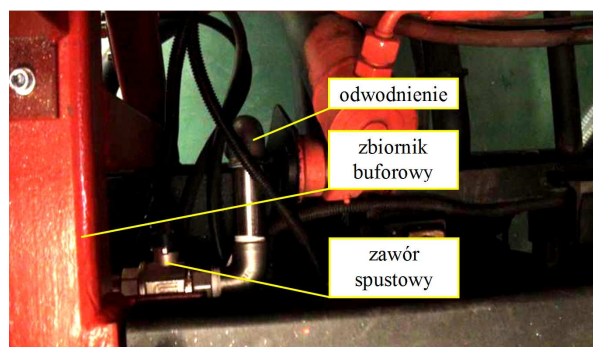


Rys. 7 Zmodernizowane wyprowadzenie spalin

Źródło: Kolekcja autora

Wydłużenie przewodu spalinowego nie spowodowało spadku mocy silnika spalinowego ze względu na niewielkie tłumienie zastosowanych przewodów wydechowych.

Podczas weryfikacji modułu likwidacji skażeń stwierdzono, że odwodnienie pompy pożarniczej oraz zbiornika buforowego jest utrudnione. Usuwanie wody podczas garażowania stanowi konieczność ze względu na możliwość zamarzania płynu w okresie zimowym. Pożądane jest takie odwodnienie które nie naraża pozostałych elementów konstrukcyjnych na zamoczenie. Odwodnienie zbiornika zapewniono poprzez wykonanie rurociągu odwadniającego (Rys. 8). Możliwość łatwego usunięcia wody z pompy uzyskano dzięki zastosowaniu elastycznych przewodów hydraulicznych zakończonych zaworami spustowymi. (Rys. 9).



Rys. 8 Odwodnienie zbiornika buforowego

Źródło: Kolekcja autora



Rys. 9 Odwodnienie pompy pożarniczej

Źródło: Kolekcja autora

Podczas prób stacjonarnych sprawdzono działanie telemetrycznego systemu łączności. Próby wykazały niską jakość obrazu uzyskiwanego z kamer umieszczonych na wsporniku. Ponieważ zakłócenia występowały jedynie przy załączonym silniku stwierdzono, że są one wynikiem drgań konstrukcji nośnej. W ramach modernizacji (Rys. 10) zamontowano dwa dodatkowe wzmocnienia umieszczone na burtach pojazdu.



Rys. 10 Wspornik mocowania kamer a – przed modernizacją, b – po modernizacji

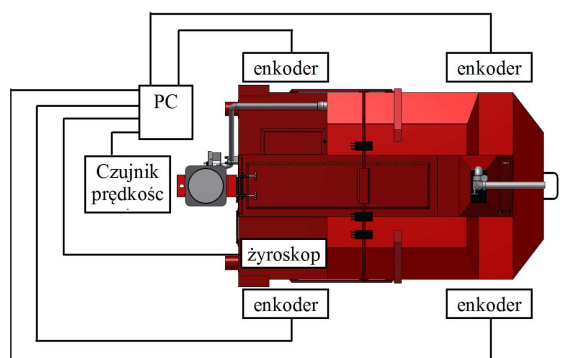
Źródło: Kolekcja autora

Wprowadzona modyfikacja znacznie zwiększa sztywność wspornika, co redukuje drgania kamer. Kolejną zaletą wprowadzonego rozwiązania jest wzrost wytrzymałości konstrukcji nośnej, ograniczającej ryzyko uszkodzenia podczas wchodzenia na pojazd oraz jazdy w terenie zadrzewionym.

Dodatkowo wykonano osłony przewodów biegnących po nadwoziu. W pierwotnym rozwiązaniu konstrukcyjnym przewody znajdujące się na zewnętrznych powierzchniach pojazdu były pozbawione osłon. Brak elementów ochronnych stwarzał zagrożenie zerwania okablowania podczas poruszania się po terenie porośniętym roślinnością krzewiastą. Wykonana modernizacja polegała na umieszczeniu przewodów w osłonach wykonanych w formie blaszanych korytek.

6. PRÓBY JEZDNE

Próby jezdne zostały przeprowadzone w warunkach drogowych i terenowych. Celem testów było sprawdzenie: prędkości maksymalnej, czasu rozpędzania, promienia skreću oraz możliwości poruszania się w trudnym terenie. W badaniach wykorzystano aparaturę pomiarową przeznaczoną do badania samochodów [1,5,6]. Zespół pomiarowy (Rys. 11; Rys. 12) składał się z: czterech enkoderów, optycznego czujnika prędkości oraz żyroskopu. Parametrami rejestrowanymi podczas badań były: prędkość obrotowa kół, prędkość pojazdu względem podłoża, przyspieszenia oraz prędkość kątowna pojazdu. Jednoczesne stosowanie kontaktowych i bezstykowych metod pomiaru pozwala na wzajemne eliminowanie zakłóceń [2,4,9].



Rys. 11 Schemat blokowy układu pomiarowego

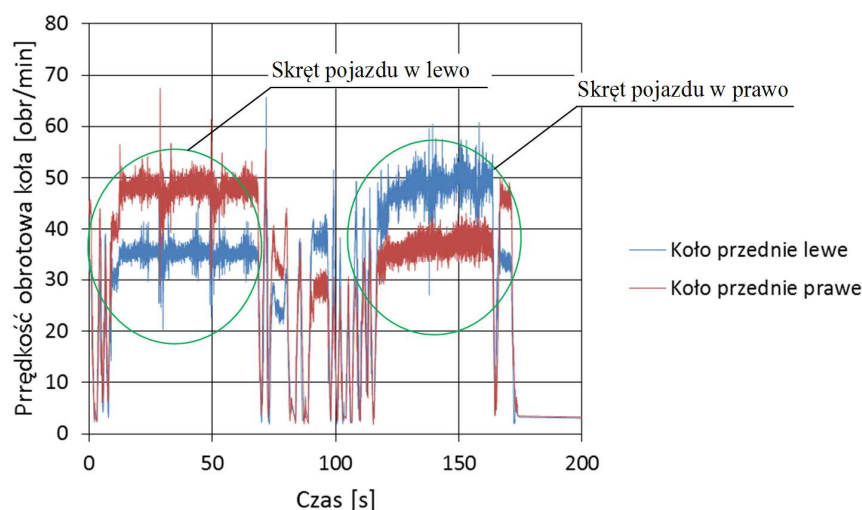
Źródło: Opracowanie autora



Rys. 12 Pojazd z zamontowaną aparaturą

Źródło: Kolekcja autora

Próby przeprowadzone w warunkach drogowych wykonano na płycie parkingu. Podczas tej fazy testów mierzono: prędkość maksymalną, czas potrzebny do rozpędzenia pojazdu i promień skreću. Zarejestrowano charakterystyki prędkości obrotowej kół w funkcji czasu (Rys. 13), na których zaobserwowano różnice prędkości kątowej kół, co świadczy o prawidłowej pracy mechanizmu różnicowego.



Rys. 13 Charakterystyka prędkości obrotowej kół w funkcji czasu

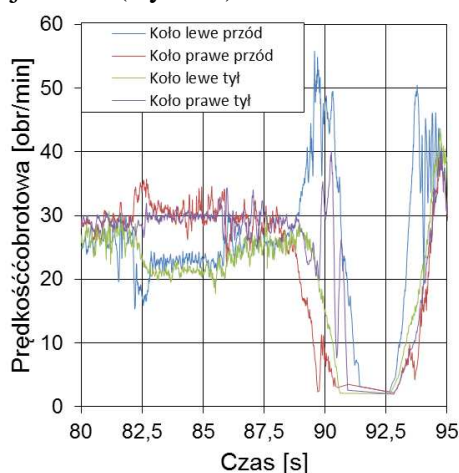
Źródło: Opracowanie autora

Uzyskane wyniki pozwoliły na eksperymentalne wyznaczenie właściwości jezdnych pojazdu. Uzyskane wyniki pokazano w Tabeli 1.

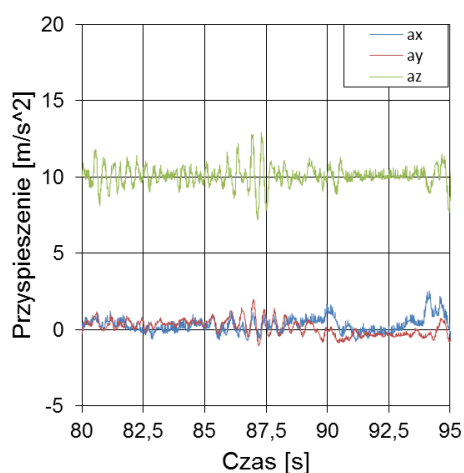
Tab. 1 Właściwości jezdne pojazdu

Parametr	Wartość
Prędkość maksymalna [km/h]	8,4
Przyspieszenie do prędkości maksymalnej [s]	3
Promień skrótu [m]	4,8
Droga hamowania [m]	2,7

Badania w warunkach terenowych przeprowadzono w celu sprawdzenia możliwości poruszania się pojazdu w trudnym terenie. Zmierzono prędkość obrotową oraz przyspieszenia w funkcji czasu (Rys. 14)



Rys. 14a Prędkość obrotowa kół w funkcji czasu



Rys. 14b przyspieszenie kół w funkcji czasu

Źródło: Opracowanie autora

Źródło: Opracowanie autora

Zaobserwowano poślizgi jednego z kół podczas poruszania się pojazdu po nierównościach. Różnica prędkości obrotowej koła wynikała z nierównomiernego obciążenie kół w wyniku ukształtowania terenu. Pomimo wystąpienia poślizgu koła pojazd kontynuował jazdę

bez konieczności blokady mechanizmu różnicowego, co wskazuje na dobre właściwości terenowe demonstratora.

7. BADANIE ELEMENTÓW WYKONAWCZYCH

W ramach testowania układów wykonawczych sprawdzono działanie działka wodno-pianowego oraz aplikatora sorbentów. Sprawdzenie aplikatora sorbentów wykonano poprzez posypywanie drogi materiałem sypkim (Rys. 15). Test układu pożarniczego polegał na uruchomieniu działka wodno-pianowego oraz sprawdzeniu efektywności odwodnienia. Podczas próby zmieniano rodzaj strumienia z rozproszonego na skupiony (Rys. 16).



Rys. 15 Sprawdzenie aplikatora sorbentów.



Rys. 16 Sprawdzenie działka wodno-pianowego

Źródło: Kolekcja autora

Źródło: Kolekcja autora

Spradzono działanie układu regulacji prześwitu (Rys. 17). Próby wykazały, że regulacja ustawienia zawieszenia w warunkach terenowych jest niepożądana. Problem stanowi zmiana odległości pomiędzy kołami, która zachodzi podczas podnoszenia podwozia. Nie zaobserwowano wadliwego działania układu w warunkach drogowych.



Rys. 17 Regulacja prześwitu pojazdu: a) wartość minimalna, b) wartość maksymalna.

Źródło: Kolekcja autora

8. WNIOSKI

Prowadzenie prac weryfikacyjnych przez cały okres wytwarzania jest konieczne dla rozwiązań o charakterze prototypowym oraz jednostkowym. W przypadku pojazdu opisanego w artykule przeprowadzone badania weryfikacyjne umożliwiły wyeliminowanie usterek przed przeprowadzeniem właściwych prób terenowych.

Badania przeprowadzone zgodnie z opracowaną metodyką wykorzystującą dekompozycję strukturalną i procesową systemu stanowiącą istotny element procesu wdrażania opracowanego rozwiązania. Usystematyzowanie zagadnień badawczych na podstawie precyzyjnie zdefi-

niowanego obiektu badań, jego funkcji i usterek jest rozwiązaniem wykorzystującym zalety metod FMEA i FTA. Ze względu na brak informacji statystycznych wynikający z minimalnej populacji badanych obiektów bardzo ważnym elementem wykorzystanej metodyki jest doświadczenie i wiedza ekspertów. Przeprowadzone prace badawcze umożliwiły skuteczną weryfikację opracowanego demonstratora. Wyniki badań potwierdzają, że prototypowy system do zwalczania par substancji niebezpiecznych charakteryzuje się parametrami potwierdzającymi gotowość wdrożeniową rozwiązania.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

BIBLIOGRAFIA

1. Gidlewski M., Koziół S., Zbrowski A. *Metody badań własności jezdnych samochodów z wysoko położonym środkiem masy*. Logistyka nr 6 2011. Str. 1103-1114
2. Hiiemaa M., Tamre M. *Low speed motion feedback for the unmanned ground vehicle*. 8th International DAAAM Baltic Conference, Industrial engineering, 19-21 April 2012, Tallinn, Estonia
3. Józwick W., Zbrowski A., Zienowicz Z. *Model bezzałogowego pojazdu do zwalczania par substancji niebezpiecznych*. Technika transportu szynowego nr 9 2012. Str. 275-283.
4. Józwick W., Zbrowski A. *Determination of the speed of an unmanned rescue vehicle*. The 9-th International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM 2013), 01 - 03 July 2013, Vilnius, Lithuania
5. Koziół S., Zbrowski A., Matras E. *System pomiarowy do rejestracji parametrów ruchu pojazdu bezzałogowego*. Autobusy nr. 3 2013. Str. 533-542.
6. Koziół S., Zbrowski A. *System pomiarowy do badań właściwości jezdnych samochodów ciężarowych*. Technika transportu szynowego nr 9 2012. Str. 305 - 314
7. Limtanyakul K., Schwiigelshohn U. *Improvements of constraint programming and hybrid methods for scheduling of tests on vehicle prototypes*. Journal Constraints Volume 17 Issue 2, April 2012. Pg. 172-203
8. Páscoal J. , Brójo F, Santos1 F., Fael1P. *An innovative experimental on-road testing method and its demonstration on a prototype vehicle*. Journal of Mechanical Science and Technology no. 26 (6) 2012. Pg. 1663-1670
9. Väljaots E. *Dynamic motion energy efficiency measurement of ground vehicles*. 8th International DAAAM Baltic Conference, Industrial engineering, 19-21 April 2012, Tallinn, Estonia
10. Zbrowski A. *Badanie prototypu działu pneumatycznego*. Problemy eksploatacji, nr 3 2011. Str. 217-234

VERIFICATION TESTS FOR A MODULAR SYSTEM FOR THE ELIMINATION OF VAPOURS OF HAZARDOUS SUBSTANCES

Abstract

The article describes the process of verification tests for a modular unmanned rescue vehicle fighting vapours of hazardous substances. The system is composed of the following elements: a six-wheel chassis, a decontamination module, a module for the application of sorbents, a communication

system, and a detector of contamination. Verification tests were divided into four following stages: inspection of items included in the system, stationary tests, drive tests (in road and off-road conditions) and tests of actuators. The authors describe the issues solved at the time of stationary tests. Drive tests were carried out using specialised test equipment for cars in dynamic conditions. The characteristics of the wheel rotational speed and the acceleration as a function of time were recorded. As for the test of the actuators, the water and foam cannons, the applicators of sorbents and the clearance control system were all checked.

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Zbrowski** - Instytut Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu;
mgr inż. **Wojciech Jóźwik** - Instytut Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu