

**Wojciech MOCZULSKI, Wojciech SKARKA, Marek ADAMCZYK,  
Marcin JANUSZKA, Daniel PAJĄK, Wawrzyniec PANFIL,  
Piotr PRZYSTAŁKA, Mirosław TARGOSZ,  
Rafał WIGLENDĄ, Marek WYLEŻOŁ**  
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice

## **ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE WIELOZADANIOWYCH ROBOTÓW MOBILNYCH WYKORZYSTUJĄCYCH ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE**

### **Słowa kluczowe**

Robotyka mobilna, grupa robotów, mechatronika, inspekcja.

### **Streszczenie**

Niniejszy artykuł prezentuje wyniki prac dotyczących grupy wielozadaniowych robotów mobilnych wykorzystujących zaawansowane technologie. W artykule zaprezentowane zostały rozwiązania konstrukcyjne wspólnej platformy nośnej robota transportowego i robota eksploracyjnego oraz małego robota monitorującego. W artykule dodatkowo opisano układy wykonawcze dla robota transportowego oraz eksploracyjnego: manipulator oraz układ szybkiej wymiany czujników.

### **Wprowadzenie**

Roboty mobilne możemy podzielić w zależności od rodzaju układu napędowo-jezdnego robota mobilnego (kołowy, gąsienicowy, latający, pływający,

kroczący, pełzający, hybrydowy itd.) lub przeznaczenia robota (np. interwencyjno-inspekcyjne, transportowe, bojowe, usługowe). Roboty mobilne najczęściej wykorzystywane są do realizacji zadań niebezpiecznych, uciążliwych dla człowieka lub tam gdzie wymagana jest duża powtarzalność i precyzja działania [5].

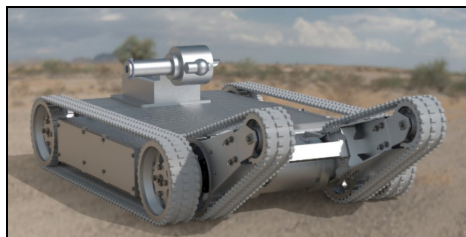
Obecnie najczęściej wykorzystywane są rozwiązania konstrukcyjne oparte o układy kołowe. Ich popularność wynika z prostoty wykonania, łatwości budowy układów sterowania oraz efektywności energetycznej. Często nie mają one jednak wystarczająco dobrych właściwości jezdnych w zróżnicowanym terenie. Najczęstszą alternatywą dla robotów kołowych są roboty gąsienicowe, które pomimo nieco lepszych własności jezdnych mogą generować większe koszty wytwarzania [5].

Niniejszy artykuł prezentuje efekty prac nad budową kołowych (Pathfinder) i gąsienicowych (Transporter i Explorer) robotów wykorzystujących zaawansowane technologie. Prace prowadzone przez grupę badawczą z Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach oraz Instytutu Technologii Eksploatacji Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu są realizowane w ramach projektu badawczego „Wielozadaniowe mobilne roboty wykorzystujące zaawansowane technologie” wykonywanego od 2010 roku.

Opracowanie projektów robotów poprzedzono procesem konceptowania oraz optymalizacji, w których podjęto analizę wielu złożonych problemów. Zapis konstrukcji robota był realizowany w trójwymiarowym wirtualnym środowisku systemu klasy CAD/CAM/CAE – CATIA v5.

## 1. Platforma nośna robotów Transporter oraz Explorer

Przeprowadzone analizy założeń oraz funkcjonalności robotów Transporter oraz Explorer wykazały potrzebę opracowania wspólnej konstrukcji bazowej, z możliwością specjalizacji jej na potrzeby poszczególnych robotów. W ramach prac badawczych opracowano konstrukcję platformy robotów (rys. 1). Przewidziana masa całkowita platformy wynosi ok. 100 kg (bez dodatkowych układów wykonawczych). Wymiary gabarytowe platformy wynoszą: dł. 1400 mm (w tym 400 mm gąsienice pomocnicze), szer. 750 mm, wys. 220 mm. Prześwit platformy nośnej to ok. 41–45 mm.



Rys. 1. Platforma nośna robotów Transporter oraz Explorer

W konstrukcji robota przewidziano wykonanie ramy spawanej z kątowników, płaskowników i blach ze stopów lekkich. Postać konstrukcyjna i wymiary zapewniają odpowiednią sztywność i wytrzymałość przy zachowaniu niskiej masy. Poszycie zewnętrzne ramy stanowią blachy aluminiowe o grubości 1 mm. W ramie można wyróżnić kilka stref umożliwiających montaż m.in. zespołów napędowych i przeniesienia napędu, układów elektronicznych i zasilania, napędów pomocniczych podnoszenia/opuszczania gaśnic.

Przeprowadzone analizy i badania wykazały zasadność wykorzystania układu jezdnego gaśnicowego. Układ gaśnic tworzą dwie pary gaśnic: główna (napędzana bezpośrednio) i pomocnicza (napędzana pośrednio). Niezależny zespół napędowy dla każdej gaśnicy składa się z silnika ( $P = 240 \text{ W}$ ,  $n = 3200 \text{ obr./min}$ ) oraz przekładni planetarnej ( $i = 25$ ) wraz z osadzonym kołem napędowym. Dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu wałów umożliwiają one bezpośredni montaż kół na wałach wyjściowych przekładni. Wytypowany zestaw silnik-przekładnia cechuje wyjściowa prędkość obrotowa  $128 \text{ obr./min}$ , oraz nominalny moment obrotowy  $14,88 \text{ Nm}$ .

Gaśnice pomocnicze (z przodu robota) posiadają dodatkowe napędy umożliwiające ich podnoszenie/opuszczanie. Ze względu na potrzebę uzyskania dużych momentów napędowych oraz ograniczenia gabarytowe, zespół składa się z silnika z hamulcem oraz enkoderem, które za pomocą przekładni pasowej współpracują z dwiema przekładniami falowymi.

Platforma nośna przewiduje montowanie 8 ogniw akumulatorów w 2 pojemnikach, znajdujących się pomiędzy gaśnicami głównymi, przykręcanych do ramy głównej. Zestaw akumulatorów pozwala na pracę robota przez co najmniej 1 godzinę.

Do górnej części ramy zamontowana jest płyta montażowa. Płyta ta umożliwia szybki, uniwersalny montaż dodatkowego oprzyrządowania (układu mocowania czujników, kosza transportowego, manipulatora lub układu do pobierania próbek i in.).

Jednym z elementów wyposażenia robota Transporter jest kosz transportowy. Służy on do transportu do czterech obrotów Pathfinder. Może spełniać także rolę uniwersalnego pojemnika do załadunku np. obiektów pobranych przez manipulator robota. Ze względu na uniwersalność kosza zdecydowano się na zastosowanie w nim demontowanych przekładek. Używane są one podczas transportu robotów Pathfinder, ułatwiając równomierne rozmieszczenie tych robotów i sam załadunek za pomocą ramienia. Konstrukcja kosza oparta jest na zastosowaniu blach perforowanych z otworami (dno oraz przekładki) oraz spawanej siatki prętowej (ścianki boczne). Całość wzmocniona jest listwami ramowymi. Dzięki tym rozwiązaniom zmniejszyła się masa kosza, a także ułatwiono spływanie z jego wnętrza ewentualnych zanieczyszczeń związanych z obiektami transportowanymi.

## 2. Robot Pathfinder

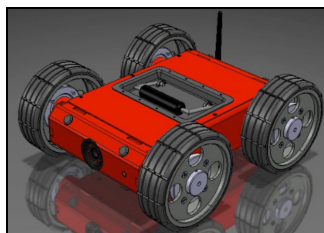
W wyniku procesu projektowania otrzymano postać konstrukcyjną robota Pathfinder (rys. 2) wyróżniającą się modułową budową korpusu (w tym szybko wymienne kosze akumulatorowe) oraz nieskomplikowanym układem napędowym i jezdny. Konstrukcja robota zapewnia możliwość działania robota w pozycji standardowej oraz odwróconej – także w trudnych warunkach, tj. podwyższona temperatura, wilgotne środowisko.

Konstrukcja zawiera następujące główne układy mechaniczne: modułowy korpus – korpus główny oraz dwa wymienne moduły montowane z przodu i tyłu robota, moduły z akumulatorami (zapewniające szybką wymianę akumulatorów), nieholonomiczny układ napędowy [4], układ jezdny – koła wykonane z wulkanizowanej na obręczach aluminiowych gumy silikonowej (odpornej na podwyższone temperatury).

W związku z możliwymi do wystąpienia zagrożeniami w środowisku działania robota istnieje duże ryzyko jego uszkodzenia (np. w wyniku spalenia czy wybuchu). Przyjęte warunki wymuszały konieczność opracowania projektu i konstrukcji robota o nieskomplikowanej strukturze i budowie oraz niskim koszcie wykonania [1].

W robocie zastosowano układ napędowy składający się z czterech niezależnie napędzanych i nieskrętnych kół, mocowanych do wałów wyjściowych zestawu silnik–przekładnia [2]. Zastosowany rodzaj układu napędowego często wykorzystywany jest w robotach mobilnych oraz pojazdach gąsienicowych. Przewidziano, iż elementy korpusu robota zostaną wykonane z blachy aluminiowej. Zastosowanie blachy aluminiowej podyktowane było potrzebą obniżenia masy z zachowaniem odpowiednio dużej sztywności [1]. Układ zasilania robota stanowią będą akumulatory litowe (litowo-polimerowe lub litowo-jonowe) o napięciu 12 V. Pojemność akumulatorów dobrana została tak, aby zapewniać pracę robota przez co najmniej 1 godzinę. Akumulatory mocowane będą w wymiennych koszach. Robot Pathfinder będzie mógł być także zasilany z zewnętrznego źródła zasilania, z pominięciem akumulatorów.

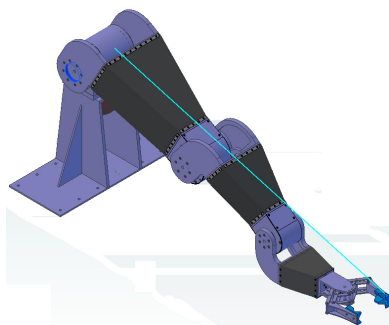
W konstrukcji korpusu robota Pathfinder przewidziano mocowanie kamer, mikrofonów i głośników, akumulatorów, komputera sterującego oraz pozostałych układów elektronicznych. Wymiary gabarytowe robota Pathfinder to: dł. 340–350 mm (zależna od średnicy kół), szer. 300 mm, wys. 140–150 mm (zależna od średnicy kół). Prześwit podwozia wynosi 33–38 mm (zależny od średnicy kół). Całkowita masa robota nie przekracza 5,5 kg.



Rys. 2. Robot Pathfinder

### 3. Układy wykonawcze robotów Transporter oraz Explorer

Roboty Transporter oraz Explorer wyposażone są w odpowiednie układy wykonawcze. Na robocie Transporter przewidziano montaż manipulatora (rys. 3) pozwalającego na załadunek do specjalnego kosza na robocie robotów Pathfinder lub innych niewielkich przedmiotów. Elementy nośne manipulatora zaprojektowane zostały pod kątem minimalizacji ich masy, wykorzystano lekkie stopy aluminiowe oraz kompozyty węglowe. Układy napędowe kolejnych przegubów stanowią zintegrowane układy napędowe składające się z silnika bezszczotkowego, przekładni falowej, łożyskowanej osi wyjściowej oraz enkodera absolutnego mierzącego kątową pozycję z dużą rozdzielczością. Każdy z napędów sterowany jest za pomocą sterownika zasilanego napięciem 24VDC, który umożliwia precyzyjne sterowanie napędem. Na potrzeby robota „Transporter” opracowany został projekt chwytaka pozwalający na precyzyjne uchwycenie i przenoszenie wytypowanych elementów. Manipulator ma 5 stopni swobody i może podnosić obiekty o masie do 5,5 kg.

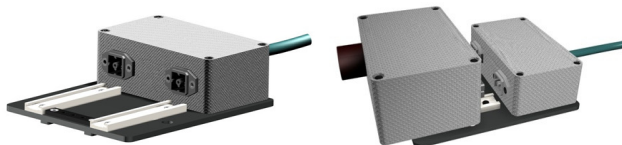


Rys. 3. Manipulator robota Transporter

Dla robota Explorer zaprojektowany został specjalny układ do montażu czujników (rys. 4). Układ ten ma za zadanie umożliwić łatwe mocowanie i przebrajanie wyposażenia robota Explorer (czujników do monitorowania środowiska). Innym ważnym zadaniem układu jest unifikacja i typizacja komunikacji i zasilania różnego rodzaju czujników. Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie typoszeregu modułów mocujących umożliwiających zamocowanie wielu różnorodnych czujników. Najważniejsze cechy zaprojektowanego układu to:

- możliwość szybkiego i sprawnego mocowania różnorodnych czujników,
- możliwość ujednoczenia protokołu komunikacji pomiędzy różnorodnymi czujnikami,
- ujednoczenie wartości zasilania dla różnych czujników,
- zabezpieczenie czujników przed wpływem warunków atmosferycznych,

- możliwość wzbogacenia czujnika o dodatkowe funkcje np. diagnostykę torów pomiarowych czy walidację sygnałów.



Rys. 4. System mocowania czujników

### Podsumowanie i wnioski

Niniejszy artykuł prezentuje wyniki prac dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych wielozadaniowych robotów mobilnych wykorzystujących zaawansowane technologie. Opracowane roboty pozwalają wspomagać człowieka w realizacji zadań w środowisku mogącym stwarzać zagrożenie.

W przypadku robotów tego typu istotnym warunkiem ich przydatności jest możliwość działania w różnorodnych warunkach terenowych (zapewnienie odpowiednich właściwości jezdnych) i atmosferycznych. Łatwość demontażu i ponownego montażu systemów wykonawczych robota jest czynnikiem równie często decydującym o przydatności robota [3]. Aby roboty mogły być powszechnie wykorzystywane, celowe wydaje się poszukiwanie takich rozwiązań, które nie będą wymagały dużych nakładów finansowych, a co z tym się wiąże, będą stosunkowo łatwe w realizacji. Opracowane wielozadaniowe roboty mobilne spełniają wymienione kryteria. Wynika z tego więc nadzieja autorów, że opisywana w niniejszej pracy grupa robotów zostanie wdrożona do produkcji i sprzedaży oraz znajdzie praktyczne zastosowanie.

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

### Bibliografia

1. Januszka M.: Mechanical carrier of an autonomous mobile robot for inspecting technical objects, *Problemy Eksploatacji* 3/2008 (70), Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2008, s. 31–38.
2. Januszka M., Adamczyk M., Moczulski W.: Nieholonomiczny autonomiczny robot mobilny do inspekcji obiektów technicznych. *Problemy Robotyki*, pod redakcją K. Tchonja i C. Zielińskiego, Tom 1, z. 166, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008, s. 143–152.

3. Moczulski W., Adamczyk M., Januszka M., Panfil W., Przystałka P., Wyleżoł M.: Team of Specialized Mobile Robots for Group Inspection of Large-area Technical Objects, K. R. Kozłowski (Ed.): Robot Motion and Control 2009, Lecture Notes in Control and Information Sciences – LNCIS 396, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, s. 411–420.
4. Sandin P.E.: Robot Mechanisms and Mechanical Devices. NY, McGraw-Hill 2003.
5. Trojnacki M., Szykarczyk P., Andrzejuk A.: Tendencje rozwoju mobilnych robotów lądowych, PAR, 6/2008, s. 11–14.

Recenzent:  
**Tadeusz UHL**

### **Design solutions for multi-purpose mobile robots using advanced technologies**

#### **Key words**

Mobile robotics, multi-robot group, mechatronics, inspection.

#### **Summary**

The paper presents results of the research concerning a group of mobile robots using advanced technologies. There were presented design solutions of a carrier platform being a base for both the transport and exploring robots, as well as design of a small monitoring robot. Moreover, actuators of the transport and exploring robots such as a manipulator and a system for rapid sensors' replacement were presented.

