

## Józef GIERGIEL, Krzysztof KURC

POLITECHNIKA RZESZOWSKA, WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN, KATEDRA MECHANIKI STOSOWANEJ I ROBOTYKI

# Robot inspekcyjny do przewodów rurowych.

Prof. hab. dr inż. Józef GIERGIEL

Jest pracownikiem w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki Politechniki Rzeszowskiej, emerytowanym prof. Katedry Robotyki i Dynamiki Maszyn AGH. Głównymi zainteresowaniami są szeroko rozumiana Mechanika Stosowana, Robotyka i Mechatronika.

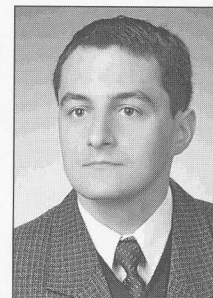
[jgiergie@agh.edu.pl](mailto:jgiergie@agh.edu.pl)



Mgr inż. Krzysztof KURC

Ukończył studia z wyróżnieniem na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki rzeszowskiej w 2004 roku o specjalności Robotyka. Zainteresowania - szeroko rozumiana robotyka i mechatronika.

[kkurc@poczta.onet.pl](mailto:kkurc@poczta.onet.pl)



### Streszczenie

W artykule przedstawiono projekt i prototyp taniej konstrukcji robota inspekcyjnego pozwalającego na monitorowanie i analizę stanu technicznego wewnętrznej części rurociągów. Opisano główne podzespoły mechaniczne, elektroniczne oraz przedstawiono schemat zasilania.

### Abstract

In this paper was presented the project and prototype of cheap construction of inspective robot, he was permitting on monitoring and the analysis of technical state of inside part of pipes. It main mechanical, electronic components were described as well as the chart of power was introduced.

## 1. Wstęp

Roboty inspekcyjne a mianowicie ich powstanie spowodowane było chęcią lub koniecznością skontrolowania trudno dostępnych miejsc. Najlepszym przykładem, jaki się nasuwa to kontrola rurociągów, szybów wentylacyjnych jak również przeszukiwanie gruzowisk w celu odnalezienia zasypianych ludzi. Przykłady tego typu robotów można znaleźć w literaturze, czasopismach a szczególnie na stronach internetowych np. [4 - 7].

Podstawowym celem tego artykułu jest przedstawienie taniej prototypowej konstrukcji robota inspekcyjnego pozwalającej na monitorowanie i analizę stanu technicznego wewnętrznych części rurociągów o średnicy od 140 ÷ 155mm. Inspekcja rurociągów o większej średnicy jest możliwa w przypadku zastosowania dłuższych ramion kół napędowych i prowadzących. Badane rury mogą być wykonane z różnych materiałów i umieszczone w różnych pozycjach to znaczy poziomo, pionowo, pod pewnym kątem, a ich kształt to odcinki proste lub łuki o promieniu krzywizny zależnym od średnicy wewnętrznej rur. Dla średnicy  $\phi 150\text{mm}$  promień krzywizny  $R \geq 300\text{mm}$ .

## 2. Projekt koncepcyjny i budowa robota

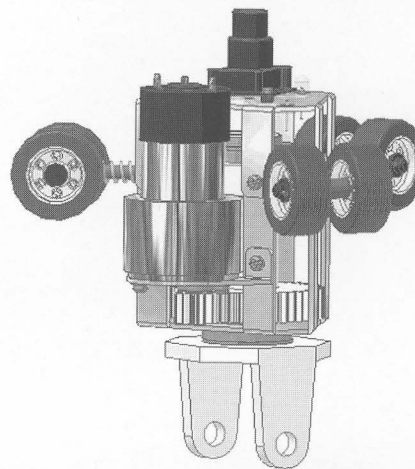
Do projektu i budowy robota zastosowano mechatroniczne podejście [2].

Prototypowe rozwiązanie składa się z:

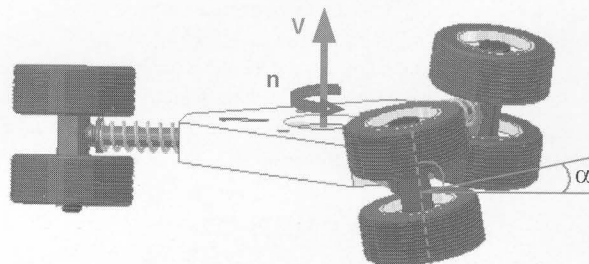
- platformy mobilnej (rys.3),
- stacjonarnej konsoli sterowniczej (rys.4).

Część mobilną stanowi zespół dwóch modułów kołowych połączonych przegubem Cardana, którego zastosowanie umożliwia pokonywanie krzywizn w rurociągach. Pierwszy moduł to stator (rys.1), w którego skład wchodzi zespół trzech modułów kołowych rozmieszczonych po obwodzie co 120o skierowanych wzdłuż rury, a na ich platformie znajduje się silnik napędowy z przekładnią, kamera i zestaw oświetlający pole obserwacji.

Drugi moduł to wirnik (rys.2), zawierający również zespół trzech modułów kołowych rozmieszczonych po obwodzie, co 1200 z tą różnicą, że każde z kół jest nachylone do osi rury pod takim samym kątem.



Rys.1. Stator z oprzyrządowaniem



Rys.2. Część napędowa robota (wirnik)

Dzięki temu nachyleniu silnik napędowy z przekładnią obracając całym wirnikiem poprzez dodatkowe przełożenie 1:4 (koła zębate) realizuje napęd robota. Relacja pomiędzy obrotami wirnika  $n$  a prędkością  $V$  jest następująca:

$$V = n \cdot h$$

gdzie:

$V$  - prędkość robota

$n$  - obroty wirnika = 110obr/min  $\approx$  1,8obr/s

$h$  - długość skoku w czasie jednego obrotu

$$h = \text{tg}\alpha \cdot d$$

gdzie:

$d$  - średnica rury = 148mm

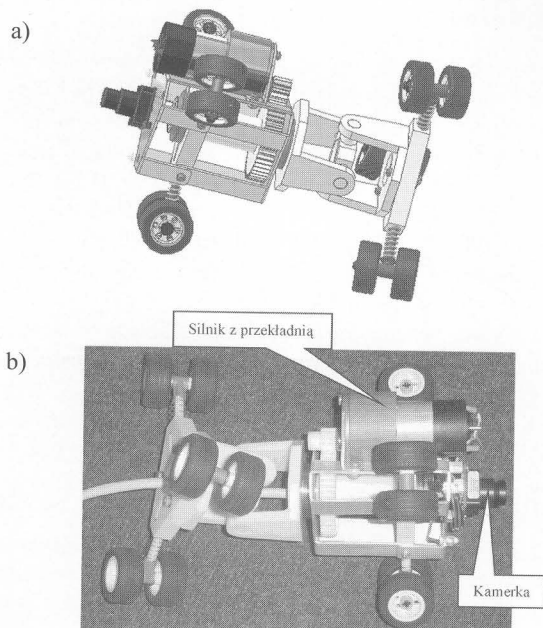
$\alpha$  - kąt nachylenia kół wirników =  $10^\circ$

Czyli prędkość liniow wzdłuż rurociągu robota wynosi:

$$V = 1,8 \cdot \text{tg}10^\circ \cdot 148 \approx 47 \text{ mm/s}$$

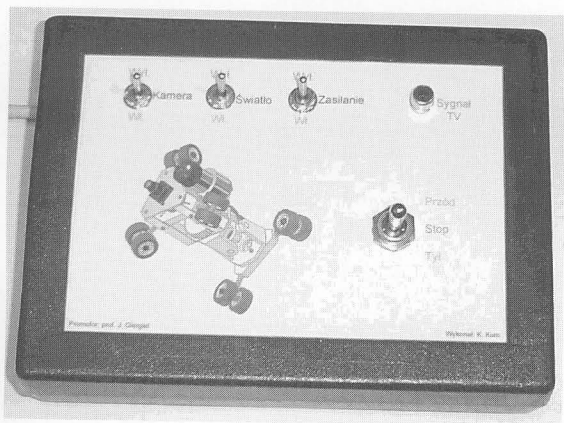
Przemieszczanie się w pozycji pionowej jest możliwe dzięki zestawowi sprężyn, które dociskają koła robota do powierzchni rury eliminując poślizg [3]. Cały robot jak pokazano na rys. 3 składa się

z podzespołów (części), które są ze sobą połączone w taki sposób, aby możliwa była translacja lub rotacja jednej części względem drugiej.



Rys.3. Robot - platforma mobilna (a - model konstrukcyjny, b - rzeczywiste wykonanie)

Stacjonarna konsola sterownicza (rys.4) w swej budowie zawiera: sterownik, zestaw akumulatorków, manipulator ze stabilnym położeniem środkowym, wyłącznik główny, wyłącznik kamery i oświetlenia, oraz wyprowadzenie sygnału TV.



Rys.4. Stacjonarna konsola sterownicza

Obydwie części (platforma mobilna i konsola sterownicza) połączone są przewodem z tego względu, że zastosowanie np. bezprzewodowego łącza radiowego jest nie możliwe w przypadku badania rur metalowych. Plussem takiego rozwiązania jest to, że robot staje się lżejszy (odciążony z akumulatorków), jednak pociąga to za sobą negatywny skutek, którego wynikiem jest ciągnięty przewód uniemożliwiający daleką inspekcję rurociągów. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry konstrukcyjne robota.

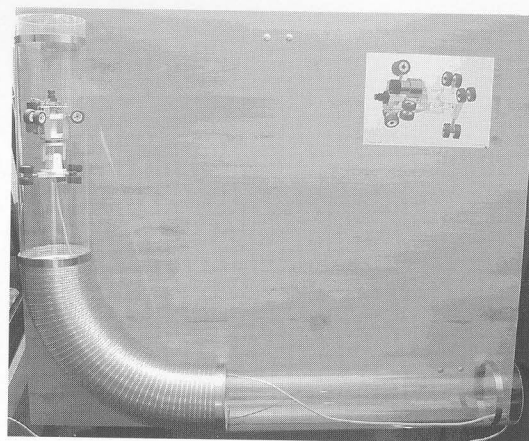
Tabela 1. Parametry techniczne robota

Prędkość jazdy	≈50mm/s
Zasilanie	12V
Masa robota	554g
Masa statora	404g
Masa wirnika	150g
Długość robota	20cm
Oświetleniowa	diody LED - 3V

Głównymi materiałami, z których został wykonany robot to aluminium i białe tworzywo podobne do teflonu o niemieckiej nazwie

Ertayte. Zastosowanie ich umożliwiło osiągnięcie małej wagi robota, co jest korzystne szczególnie w przypadku poruszania się w pionowych rurach. Prędkość robota w rurach przymocowanych poziomo wahała się w granicy 50mm/s, natomiast w rurach umieszczonych w pionie zależnie od kierunku jazdy, w górę prędkość ta spadała poniżej 50mm/s natomiast w dół przekraczała 50mm/s.

Rys.5. przedstawia stanowisko do badania ruchu robota wewnątrz rurociągu. Stanowisko to składa się z rury zawierającej element przymocowany poziomo, pionowo jak również część łukową (kolan-ko) łączące te dwie części o promieniu krzywizny  $R = 300\text{mm}$ .



Rys.5. Widok robota z przykładowym torem jazdy

Średnica zewnętrzna i wewnętrzna rury z PLEXIGLASU umożliwiającej obserwację robota podczas pracy to odpowiednio 150 i 144mm natomiast średnica wewnętrzna kolanka to 150mm. Połączenie ich zrealizowane jest na zasadzie włożenia jednej w drugą i ściśnięciu opaską. Powstaje przez to przeszkoda, którą robot musi pokonać o kształcie pierścienia, którego grubość ścianki wynosi 3mm. Symuluje to rzeczywiste warunki pracy projektowanego urządzenia.

### 3. Aktoryka i sensoryka

Podstawowymi układami robota są człony wykonawcze (aktory) oraz czujniki przekazujące do sterownika robota informacje o jego aktualnym stanie (sensory).

Jako aktor został zastosowany silnik prądu stałego z przekładnią zębatą widoczny na rys.3 o parametrach technicznych podanych w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry techniczne silnika z przekładnią

Napięcie zasilania	12V
Przełożenie przekładni	15:1
Masa	190g
Prędkość obrotowa bez obciążenia	440obr/min
Prędkość obrotowa z max. obciążeniem	300obr/min
Max moment obrotowy	10Ncm

Jako sensor zastosowano miniaturową kolorową kamerkę płytkową widoczna na rys.3 o parametrach technicznych przedstawionych w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry techniczne kamery

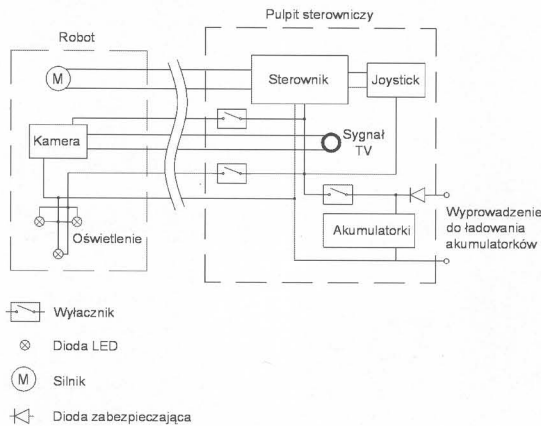
Rozdzielczość	640 x 480
Przetwornik	CMOS
Obiektyw	3,6mm F2.0
Czułość	1,5 lx
Zasilanie	DC 12V / 0.2A
Wymiary	24x24x27

Obraz z kamery może być wyświetlany przy zastosowaniu karty telewizyjnej na monitorze komputera, na kolorowy monitor LCD umieszczony w konsoli sterowniczej lub na telewizorze.

## 4. Zasilanie i sterownik robota

Robot zasilany jest z akumulatorków połączonych szeregowo, z których uzyskujemy 12V. Napięcie to zasilają kamerę jak również podawane jest poprzez układ mostkowy omówiony poniżej bezpośrednio na silnik. Diody oświetlające dostosowane są do napięcia 3V i dlatego zasilane są poprzez rezystor 150Ω.

Schemat blokowy zasilania przedstawiono na rys.6.

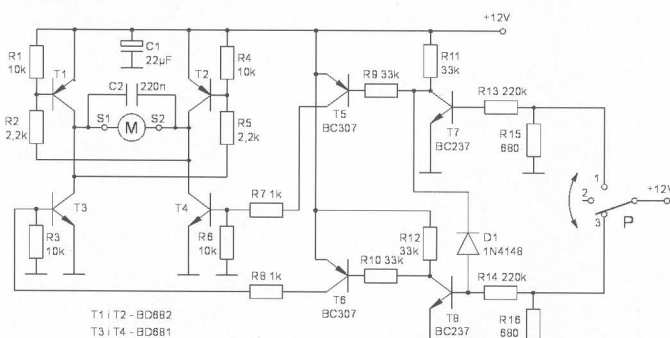


Rys.6. Schemat układu zasilania

## Sterownik robota

Do sterowania ruchem mobilnych robotów kołowych stosuje się najczęściej sterowniki przemysłowe charakteryzujące się dużą szybkością działania [1].

Użyty sterownik to tani do zrealizowania układ cechujący się prostą budową i szybkością działania, dostarczający członowi wykonawczemu wymagane parametry. Sterownik ten to układ mostkowy (rys.7) zawierający tranzystory sterujące oraz tranzystory - klucze załączające.



Rys.7. Schemat ideowy sterownika

Wysterowanie tranzystorów T7 i T8 jest możliwe dzięki odpowiedniemu nastawieniu przełącznika P (pozycja 1 lub 2). Gdy wystąpiła sytuacja wysterowania ich jednocześnie z kolektora T7 doprowadzono do bazy T8 diodę D1, która umożliwia zablokowanie tego tranzystora, gdy włączony jest tranzystor T7. Na wyjściach tranzystorów T7 i T8 otrzymuje się niskie poziomy napięcia w zależności od wybranej pozycji przełącznika P. Tymi sygnałami można za pośrednictwem wzmacniaczy T5 i T6 sterować praca mostkowego układu włączającego silnik napędowy robota.

Odetkanie tranzystora T5 (pozycja 1 przełącznika P) spowoduje wysterowanie tranzystora T4 i zwarcie wyprowadzenia silnika S2 z masą. Umożliwi to przepływ prądu przez rezystor R2 i wysterowanie tranzystora T1 doprowadzającego dodatnie napięcie do wyprowadzenia S1 silnika. Silnik zacznie napędzać robota w jednym z kierunków. Przy wybraniu pozycji 3 nasycony zostanie tranzystor T6 i T3, a za pośrednictwem rezystora R5 nasyca się także tranzystor T2. Wyprowadzenie S1 silnika zostanie więc zwarte z masą a wyprowadzenie S2 zasilaniem. Spowoduje to obracanie się silnika w przeciwną stronę niż poprzednio a co za tym idzie zmianę

kierunku przemieszczania się robota. Wybierając pozycję 2 przez przełącznik P spowodujemy zatrzymanie się robota i np. dokładne oglądnięcie wewnętrznej części rury.

## 5. Podsumowanie

Zbudowany robot to tanie rozwiązanie przeznaczone do celów dydaktyczno naukowych aplikacyjnych i użytkowych. To również propozycja dla producentów trudniących się tematyką robotów inspekcyjnych spełniających wyżej przedstawione wymagania. Wszystkie postawione założenia zostały spełnione, robot działa i w każdej chwili może zostać użyty do monitoringu rurociągów.

Do kierunków dalszego rozwoju konstrukcji należy zaliczyć:

- modyfikację robota do większych średnic, stosując dłuższe ramiona kół napędowych i prowadzących,
- rozbudowę systemu wizyjnego tzn. umieszczenie kamery na przegubie kulowym i sterowanie nią za pomocą dwóch silników, w celu dokładnej obserwacji rur podczas pokonywania krzywizn.
- zamontowanie manipulatora z chwytakiem lub narzędziem do wykonywania różnych czynności w przewodach rurowych.

## 6. Literatura

- [1] Giergiel M. J., Hendzel Z., Żylski W.: Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów kołowych. Warszawa, PWN 2002.
- [2] Wybrane problemy projektowania mechatronicznego, pod redakcją T. Uhla - wyd. KRiDM AGH Kraków 1999.
- [3] Borkowski W., Konopka S., Prochowski L.: Dynamika maszyn roboczych. Warszawa, WNT 1996.
- [4] <http://www.everestvit.com/crawlers/index.html>
- [5] [http://www.ims-robotics.de/programm/framesets/fs\\_hausanschluss\\_e.htm](http://www.ims-robotics.de/programm/framesets/fs_hausanschluss_e.htm)
- [6] <http://www.ulb.ac.be/scmero/robotics.html#pipe>
- [7] <http://www.inuktun.com/purchasing/default.asp>

Title: Inspective robot to pipes

Artykuł recenzowany

**ZAPRASZAMY DO  
PRENUMERATY  
czasopisma PAK  
w 2005 roku**

**PRENUMERATĘ I KOLPORTAŻ PROWADZĄ**

**REDAKCJA  
POMIARY-AUTOMATYKA-KONTROLA**  
ul. Świętokrzyska 14A p. 535  
00-050 Warszawa  
tel./fax: (022) 827 25 40  
e-mail: pak@data.pl  
marketing: dorpak@data.pl

**GARMOND PRESS SA**  
ul. Nakielska 3  
01-106 Warszawa

**KOLPORTER SA**  
ul. Strycharska 6  
25-659 Kielce