

Opracowanie modelu robota inspekcyjnego

Design of inspection robot model

JAROSŁAW PANASIUK
MICHAŁ SIWEK *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.171

Celem artykułu jest przedstawienie projektu robota mobilnego przeznaczonego do inspekcji rurociągów, a w szczególności do inspekcji przewodów kanalizacyjnych, wyposażonego w głowicę obserwacyjną oraz posiadającego możliwość dostosowania swoich parametrów geometrycznych do różnych przekrojów przewodów kanalizacyjnych.
SŁOWA KLUCZOWE: robot inspekcyjny, inspekcja rurociągów

The main aim of this article is to present the design of the model of the mobile robot for inspection of pipelines, specifically designed for the inspection of sewer pipes. The robot is equipped with a rotary head with a camera and can adjust their geometrical parameters to assorted diameter sewer pipes.

KEYWORDS: inspection robot, pipelines inspection

Przesyłanie różnego rodzaju mediów za pomocą rurociągów jest szeroko stosowanym rozwiązaniem. Wynika to zarówno z prostoty konstrukcji samych rurociągów o przekrojach kołowych, jak i wytrzymałości tych konstrukcji. Rurociągi wykorzystywane są zarówno do transportu ropy oraz gazu czy wody, jak i do budowy do instalacji kanalizacyjnych, gdzie odpowiadają za odprowadzanie nieczystości. Utrzymanie sprawności i drożności sieci rurociągowej jest bardzo ważnym aspektem poprawnego funkcjonowania systemu. W tym celu zaleca się przeprowadzanie kontroli ze szczególnym uwzględnieniem poprawnego przepływu oraz szczelności. Ze względu na trudny dostęp do przewodów rurowych, małe średnice, a jednocześnie duże długości rur wykorzystuje się do tego celu inspekcyjne roboty mobilne. Producenci z branży robotyki mobilnej oferują wiele rozwiązań pozwalających na realizację zadań inspekcyjnych, a wybór konkretnego systemu uzależniony jest od średnicy i rodzaju rurociągu. Uwzględniając te warunki klasyfikacji, można wyróżnić konstrukcje o napędzie gąsienicowym i kołowym. Ze względu na ograniczenie manewrowości podczas jazdy w rurze wymagany jest tylko ruch w przód i tył, co przekłada się na uproszczenie układu napędowego. Jednak szczególnej uwagi wymagają elementy kontaktowe układu jezdnego robota ze ścianką rury, które powinny zapewniać brak poślizgu i odporność na zabrudzenia.

Ciekawym przykładem jest robot opracowany w Katedrze Robotyki i Mechatroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, którego konstrukcja umożliwia inspekcję rurociągów



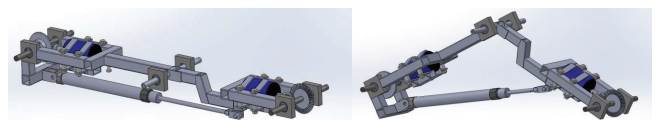
Rys. 1. Pipe Crawler STORMER S3000 Źródło: <http://www.meditinc.com/pipe-crawler-robot-stormer.html>

o poziomym oraz pionowym ułożeniu rur o średnicy 230÷270 mm. Robot wyposażony jest w kamerę CCTV pozwalającą na ocenę stanu technicznego rurociągu.

Projekt robota

Realizując główne wymaganie funkcjonalne dotyczące możliwości dostosowania się robota do rur o zmiennej średnicy w zakresie 160÷300 mm, zaprojektowano przegubową konstrukcję opartą na sześciokołowym układzie jezdnym napędzanym dwoma silnikami DC sterowanymi niezależnie. Rama robota składa się z dwóch części o równej długości – przedniej i tylnej, połączonych przegubem o jednym stopniu swobody. Jako jej elementy konstrukcyjne zastosowano stalowe profile zamknięte o przekroju kwadratowym 15×15×1,5 mm. Dzięki uproszczonej funkcjonalności układu napędowego polegającej na poruszaniu się wyłącznie w przód i w tył, przednia i tylna para kół napędowych zostały połączone wałami, a przeniesienie napędu z silników realizowane jest poprzez kątowe przekładnie zębate. Wały osadzone są w łożyskach kulkowych zwykłych. Środkowa para kół nie jest napędzana, konstrukcja robota umożliwia zmianę jej położenia w pionie, uzyskując w ten sposób dodatkowy punkt podparcia u góry robota podczas inspekcji rur o średnicy powyżej 160 mm. Zmiana wysokości realizowana jest poprzez wsuwanie i wysuwanie tłoczyska siłownika pneumatycznego umiejscowionego pod ramą. Wsuniecie tłoczyska powoduje złamanie się robota w przegubie skutkiem czego jest zwiększenie wysokości położenia środkowej pary kół, oraz zaparcie się robota o ścianki rury. Takie rozwiązanie pozwala na pokonywanie skośnych oraz pionowych odcinków rurociągów.

Model ramy oraz całego układu napędowego wykonano w środowisku SolidWorks 2013 (rys. 2). Na jego podstawie dobrano gabaryty robota pozwalające na inspekcję rur o zakładanym przedziale średnic.

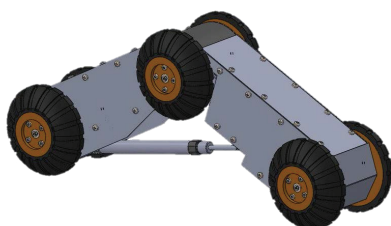


Rys. 2. Model ramy w konfiguracji podstawowej i złamanej [opracowanie własne]

Przy analizie modelu robota w odniesieniu do zakładanych średnic rur konieczne było zaprojektowanie kół jezdnych, które zapewnią wystarczającą do płynnego poruszania się w rurze powierzchnię styku opony ze ścianką. Rozwiązania wymagały także problem występowania poślizgu podczas kontaktu opony z mokrą powierzchnią wewnętrzną rury. Korzystając z programu SolidWorks 2013, opracowano model kół o zmiennej średnicy złożonych z dwóch części: twardego korpusu pozwalającego na wytrzymałe zamocowanie do wału napędowego oraz gumowej opony o wysokim współczynniku tarcia redukującym poślizg, a także niewielkiej sprężystości zapewniającej trwałe punkty podparcia. Opona została wyposażona w rowki pozwalające na odprowadzanie wody z powierzchni styku opony ze ścianką rury.

* Dr inż. Jarosław Panasiuk (jaroslaw.panasiuk@wat.edu.pl); Michał Siwek – Wojskowa Akademia Techniczna

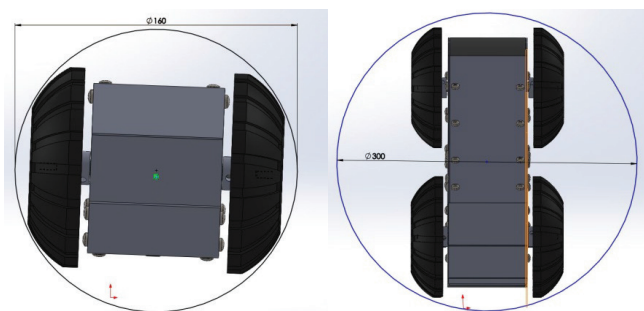
Możliwość dostosowania konstrukcji robota do zmiennej średnicy zrealizowano poprzez zastosowanie układu elektro-pneumatycznego złożonego z siłownika dwustronnego działania, zaworu sterującego, zbiornika ze sprężonym powietrzem zamocowanego na robocie, akumulatora żelowego o napięciu 12 V i pojemności 1,3 Ah. Układ sterowany jest z komputera pokładowego robota. Jako element wykonawczy wybrano siłownik firmy SMC o skoku 120 mm i średnicy tłoka 16 mm. Siłownik w takiej konfiguracji zrealizuje zgięcie robota pozwalające na inspekcję wymaganej maksymalnej średnicy rury 300 mm. Do sterowania kierunkiem przepływu sprężonego powietrza zastosowano monostabilny zawór 5/2 firmy SMC zasilany napięciem 12 V/DC. Zbiornik na sprężone powietrze tak zaprojektowano, aby istniała możliwość jego ponownego uzupełnienia powietrzem o ciśnieniu 3 barów, a jego pojemność pozwalała na wykonanie pięciu pełnych cykli pracy siłownika, polegających na pełnym wsunięciu i wsunięciu tłoczyska siłownika.



Rys. 3. Widok robota z obudową [opracowanie własne]

Rama robota jest przystosowana do montażu dwóch silników DC napędzających oś przednią oraz tylną. Do realizacji tego zadania wybrano silniki LRP Electronic V10 SPEC 5 o napięciu znamionowym 7,2 V/DC i mocy 192 W. Każdy z silników sprężony jest z wałem stalową przekładnią kątową o stopniu redukcji 3:1.

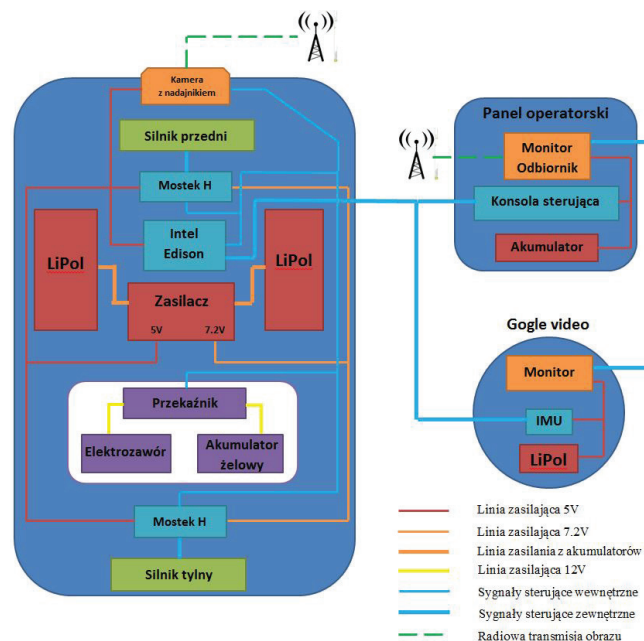
Wynik prac związanych z projektem konstrukcji mechanicznej spełniającej warunek dopasowania się robota do rur o średnicach z przedziału 160 mm do 300 mm przedstawia symulacja (rys. 4).



Rys. 4. Symulacja dopasowania do rury o średnicy 160 mm i 300 mm

Zakończenie etapu projektowania części mechanicznej pozwoliło na rozpoczęcie prac związanych z doborem i projektem komponentów elektronicznych. Ze względu na nietypowe środowisko pracy robota, jakim są przewody kanalizacyjne, zdecydowano się na zastosowanie sterowania przewodowego. Panel operatorski będzie umożliwiał sterowanie ruchem robota, wizualizację poziomu naładowania akumulatora, przejechanej odległości oraz wyświetlanie obrazu z kamery. Będzie się znajdował w specjalnie przygotowanej do tego celu walizce. Jako komputer pokładowy sterujący podzespołami robota wybrano platformę Intel Edison opartą na wydajnym, dwurdzeniowym procesorze Intel Atom taktowanym zegarem 500 MHz wyposażonym w 1 GB pamięci RAM DDR3 oraz systemem operacyjnym Yoco Linux. Platforma umożliwia tworzenie aplikacji, wykorzystując trzy środowiska: Arduino, Intel® XDK IoT Edition oraz Eclipse. Sterowanie silnikami DC realizowane jest poprzez dwa moduły z jednokanałowym mostkiem H VNH3SP30 firmy ST. Moduł umożliwia obsługę silników za-

silanych napięciem do 24 V i ciągłym poborze prądu do 12 A. Robot zasilany będzie z dwóch akumulatorów LiPoL o napięciu 7,2 V i pojemności 4 Ah każdy. W celu redukcji szumów napięcia związanych z pracą silników w projekcie uwzględniono układ rozdzielnego zasilania. Silniki będą zasilane z innego źródła niż układy logiczne. Dodatkowo napięcie zasilające układy logiczne będzie poddawane filtracji. Schemat blokowy części elektronicznej przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy części elektronicznej robota

Głównym źródłem informacji o stanie technicznym wnętrza rurociągu będzie obraz z kamery umiejscowionej z przodu robota. Mocowanie kamery powinno umożliwiać jej obrót wokół dwóch osi pionowej oraz poziomej. Ze względu na panującą we wnętrzu rury ciemność układ powinien być wyposażony w lampy doświetlające. Uwzględniając te wymagania w projekcie, zastosowano radiową transmisję obrazu z wykorzystaniem kamery SONY 600TVF D-WDR. Kamerę zintegrowano z nadajnikiem pracującym w paśmie częstotliwości 5,8 GHz. Odbiornik umieszczono w walizce z panelem operatorskim, obraz wyświetlany jest na monitorze o przekątnej 7". Dodatkowo do odbiornika można podłączyć zestaw gogli Quantum wyposażonych w monitor o przekątnej 5", który przewodowo łączony jest z odbiornikiem w walizce. Na goglach umieszczono czujnik IMU monitorujący ruchy głowy. Na ich podstawie można sterować położeniem kamery na robocie.

Podsumowanie

Roboty mobilne przeznaczone do inspekcji są obecnie szybko rozwijającym się rynkiem, jeśli chodzi o usługi. Opracowane rozwiązanie pozwala na zachowanie zarówno pełnej funkcjonalności, jak i elastyczności w zakresie dostosowania się do potrzeb klientów.

LITERATURA

1. Strona internetowa: <http://3dprintingindustry.com>.
2. Strona internetowa: <http://www.meditinc.com/pipe-crawler-robot-stormer.html>.
3. Filipiek P.: „Robot inspekcyjno- czyszczący „Inspektor 1”, *Postępy Nauki i Techniki* 2011, nr 8, s. 211-217.
4. R. Zdanowicz, „*Podstawy Robotyki*”. WPS, Gliwice, 2012.
5. M. Giergiel, Z. Hendzel, W. Żylski, „*Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów*”. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
6. Dokumentacje techniczne wykorzystanych podzespołów elektronicznych.