

STRUCTURAL SOLUTIONS OF DRIVING SYSTEM AND SETS REMOTELY CONTROLLED VEHICLE TO THE INSPECTION OF VENTILATING PIPES

Przemysław Filipek

Lublin University of Technology,
Faculty of Mechanical Engineering
Nadbystrzycka Street 36, 20-614 Lublin
tel.: +48 81 5384499
e-mail: p.filipek@pollub.pl

Tomasz Kamiński

Motor Transport Institute
Jagiellońska Street 80, 03-301 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 8113231 w. 129, fax: +48 22 8110906
e-mail: tomasz.kaminski@its.waw.pl, tk42@o2.pl

Abstract

This article shows function and construction assumptions of mobile, wireless inspection-cleaning robot of ventilating pipes. Robot has got cordless colour camera. Robot has got many different sensors (flow and direction of air, gas, humidity and temperature) it can exactly diagnosed canal in respect of efficiency and presence of fire or gas.

Robot arm is equipped in four changeable endings: clutch with pincer, taking in shovel, two traverse brushes (cleaning ventilation canals about square or rectangle section) and brush about oblong pivot (cleaning ventilation canals about circled section). Thanks to changeable endings robot can fast become inspector from a cleaning machine.

Helping vertical tighten wheel is a innovation introduced to the robot construction, in result it increases wheels tighten to the ground. It will decrease wheel skid and it make possible to drive under larger inclination or in vertical canal. Tighten power vertical wheel to overhead partition of ventilation canal is regulated by the tighten sensor.

This article shows modelling construction elements of the robot. In certain domains work, the elaborated robot exceeds with functional quality industrial robots by using in it several environmental sensors and innovations.

Keywords: *mobile inspecting robot, ventilation pipe, driving system construction, mobile robot arm, helping vertical tighten wheel, camera tripod*

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE UKŁADU JEZDNEGO I PODZESPOŁÓW ZDALNIE STEROWANEGO POJAZDU DO INSPEKCJI KANAŁÓW WENTYLACYJNYCH

Streszczenie

Artykuł przedstawia założenia funkcyjne i konstrukcyjne mobilnego, bezprzewodowego robota do inspekcji i czyszczenia kanałów wentylacyjnych. Robot wyposażony w kolorową kamerę przekazuje obraz bezprzewodowo. Wzbogacony o różne czujniki (min. przepływu i kierunku powietrza, gazu, wilgotności i temperatury) może dokładnie zdiagnozować kanał pod kątem sprawności oraz obecności gazu lub ognia.

Ramię robota jest wyposażone w cztery zamienne końcówki: chwytak ze szczypcami, łyżkę nabierającą, dwie szczotki poprzeczne (czyszczenie kanałów o przekroju prostokątnym lub kwadratowym) oraz szczotka o osi podłużnej (czyszczenie kanałów o przekroju kołowym). Dzięki wymiennym końcówkom robot może szybko przeistoczyć się z inspektora w maszynę czyszczącą.

Wspomagające pionowe koło dociskowe jest innowacją wprowadzoną do konstrukcji robota „Inspektor 1” w celu zwiększenia docisku kół do podłoża. Zapewni to zmniejszenie się poślizgu kół oraz możliwość jazdy pod większym nachyleniem lub w kanale pionowym. Siła docisku koła pionowego do górnej ścianki kanału wentylacyjnego jest

regulowana za pomocą umieszczonego w konstrukcji czujnika nacisku.

W artykule przedstawiono zamodelowane elementy konstrukcyjne robota.

Słowa kluczowe: mobilny robot inspekcyjny, kanał wentylacyjny, konstrukcja układu jezdnego, ruchome ramię robota, wspomagające pionowe koło dociskowe, pozycjoner kamery

1. Wstęp

Sprawna wentylacja pomieszczeń pełni niezmiernie ważną rolę w zapewnieniu dobrego samopoczucia i zdrowia. Jej brak może być przyczyną groźnych zatruc (np. tlenkiem węgla, okresowego bólu głowy, uczucia duszności, braku koncentracji itp.).

Zapewnienie dobrej wentylacji związane jest z drożnymi i czystymi kanałami wentylacyjnymi dostarczającymi świeże powietrze do pomieszczeń użytkowych. W trosce o dobrą wentylację należy okresowo sprawdzać stan kanałów wentylacyjnych poprzez wgląd do ich wnętrza i ewentualne czyszczenie.

W obecnych czasach czynności te wykonywane są najczęściej ręcznie a niejednokrotnie tam, gdzie nie zmieści się człowiek – czyszczenie odbywa się bez kontroli końcowych efektów. Rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie zdalnie sterowanych lub bezprzewodowych robotów inspekcyjno-czyszczących. Niestety, są to przeważnie konstrukcje zagraniczne, których koszt znacznie przewyższa możliwości finansowe małych firm pracujących w tej branży.

Zadaniem robotów inspekcyjnych jest sprawdzenie i kontrolowanie stanu różnych obiektów, do których dostęp (ze względu na lokalizację czy ich rozmiar) jest utrudniony. W wielu ośrodkach naukowych w Polsce i na świecie prowadzone są prace nad robotami inspekcyjnymi o różnych konstrukcjach i przeznaczeniu. Na Politechnice Lubelskiej w kole naukowym Zastosowań Mechatroniki ELMECH działającym w katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn tworzony jest robot inspekcyjno-czyszczący „Inspektor 1”. Jego zadaniem będzie sprawdzanie i czyszczenie przewodów wentylacyjnych o przekroju prostokątnym i kołowym.

2. Zanieczyszczenia kanałów wentylacyjnych

Stopień zabrudzenia w systemach doprowadzających powietrze zależy od jakości filtrów i ich nieuchronnego zanieczyszczenia się. Zupełny brak filtra – nawet zwykłego, jest niedopuszczalny. Szybkość zanieczyszczenia będzie zmienna w zależności od klasy zainstalowanego filtra.

Wszystkie nowo zainstalowane przewody również nie są pozbawione zanieczyszczeń. Powstają one już podczas instalacji (pył, kurz, gruz). Lokacja budynku, jak i jego urządzeń ma również bezpośredni wpływ na jakość dostarczanego powietrza. Każde otoczenie będzie wytwarzało swoje własne rodzaje zanieczyszczeń począwszy od spalania, włączając cząstki odpadków chemicznych, a kończąc na alergenach i wysokiej wilgotności. W budynkach, w których zastosowane jest powietrze obiegowe wystąpi większa różnorodność zanieczyszczeń, włączając naturalne dla tego typu otoczenia płatki skóry, włókienka materiałów tekstylnych, skrawki papieru i inne.

System wentylacyjny może również wytwarzać swoje własne zanieczyszczenia. Są to między innymi rdza, korozja, materiały izolacyjne w połączeniu z mikroorganizmami powstającymi u źródeł wilgotności.

Recyrkulacyjne systemy wentylacyjne są zwykle niefiltrowane. Dlatego też, pył, włókna i inne zanieczyszczenia zbierane po całym budynku przez cały czas kumulują się. Do zanieczyszczeń należy zaliczyć również elementy i śmiecie ograniczające, bądź blokujące przestrzeń kanałów: gruz, woreczki foliowe, odpady papierowe, gałązki, ogryzki itp.

Niewątpliwie czyszczeniu powinny podlegać wszystkie instalacje. Szczególną uwagę należy zwrócić na budynki, w których przebywają osoby, ze względu na swój wiek lub stan zdrowotny, najbardziej podatne na zachorowania (np. budynki służby zdrowia, szkoły, przedszkola, żłobki, domy opieki) oraz budynki użyteczności publicznej, do których codziennie przychodzi wielu ludzi

o różnej podatności na zachorowania (np. banki, hotele, restauracje, szkoły, uczelnie).

Przykładowy stan zanieczyszczeń kanałów wentylacyjnych widoczny jest na Fot. 1.



Fot. 1. Kurz osiadły na ściankach kanału i większe zanieczyszczenia w postaci ziarniste [1]

Pict. 1. Dust settled on faces of the channel and bigger pollutants in the grain form [1]

3. Funkcje elementów robota „Inspektor 1”

Konstrukcja projektowanego, mobilnego robota inspekcyjnego „Inspektor 1” zawiera szereg elementów funkcyjnych które jako całość tworzą ciekawe i praktyczne rozwiązanie, wprowadzające kilka innowacji i udoskonaleń zarówno w konstrukcji mechanicznej, oprzyrządowaniu elektronicznym jak i w sterowaniu programowym (Tab. 1).

Tab. 1. Funkcje poszczególnych elementów robota [2]

Tab. 1. Functions of individual elements of the robot [2]

Lp	Element robota	Wykonywana funkcja	Innowacja
1	Gumowe koła z napędem	Jazda z małym kątem skrętu	-
2	Pozycjoner kamery wraz z podstawą obrotową	Funkcja rozglądania się, możliwość obserwacji na przód i tył robota	Mechaniczna
3	Wspomagające, wysuwane koło pionowe	Wspomaganie jazdy – zmniejszanie poślizgu kół (w kanałach o przekroju kołowym możliwość jazdy w pionie)	Mechaniczna
4	Ramię z wymiennymi końcówkami: szufelka, chwytak lub czyszczące szczotki obrotowe	Funkcje: chwytania, podpierania, nabierania i czyszczenia. Usuwanie większych śmieci (worki, gałązki, piach gruz), oczyszczanie ścianek kanału z kurzu	Mechaniczna
5	Kamera bezprzewodowa	Obserwacja stanu zanieczyszczeń w kanale	-
6	Mikrofon	Rejestracja dźwięków (np. szum ciekącej wody lub syk ulatniającego się gazu)	Elektroniczna
7	Reflektor LED	Oświetlenie normalne	-
8	Halogen	Doświetlenie silnym światłem	Elektroniczna
9	Radiomodem	Komunikacja i sterowanie bezprzewodowe	Elektroniczna
10	Buzzer	Dźwiękowa sygnalizacja pozycji i alarmy	Elektroniczna
11	Czujnik gazów	Sygnalizacja obecności gazów w kanale	Elektroniczna
12	Czujnik przepływu powietrza	Określenie siły ciągu w kanale	Elektroniczna
13	Czujnik kierunku powietrza	Określenie kierunku ciągu w kanale	Elektroniczna
14	Czujnik nacisku	Określenie siły docisku wspomagającego pionowego koła dociskowego	Elektroniczna
15	Czujnik odległości	Pomiar długości kanału wentylacyjnego	Elektroniczna
16	Czujnik temperatury i wilgotności	Określenie temperatury i wilgotności panujących w kanale	Elektroniczna
17	Programowalny 32 bitowy procesor AT91SAM7S256	„Silna” jednostka sterująca	Elektroniczna
18	Akumulator 12V/ 5Ah	Podstawowe źródło zasilania robota	-
19	Rejestrator obrotów kół napędowych	Zapamiętanie drogi – powrót do początku trasy	Elektroniczna Programowa
20	Panel operatora	Panel sterujący robotem	-

4. Projekt robota „Inspektor 1”

Robot mobilny „Inspektor 1” jest konstrukcją złożoną. Występują w nim zarówno elementy mechaniczne, jak i elektroniczne oraz informatyczne.

Układ jezdny bazuje na postawie czterośladowej gdzie dwa silniki napędowe służą do zmiany kierunków ruchu i napędu w obie strony. Robot jest zasilany z ogniwa akumulatorowego 12V/5Ah. Całością zarządza 32 bitowy mikrokontroler rodziny AT91SAM7S firmy Atmel. Mikroprocesor znajduje się w wymiennym module, stąd łatwo jest przeprogramować robota. Robot wyposażony w kolorową kamerę przekazuje obraz bezprzewodowo. W ten sam sposób realizujemy sterowanie urządzeniem. Operator ma do dyspozycji zamontowane z przodu ruchome ramię z wymiennymi końcówkami: szufelką, chwytakiem bądź obrotowymi szczotkami. Robot wyposażony jest w źródło światła LED i halogen doświetlający, wspomagające koło pionowe, ułatwiające jazdę robota w kanałach o przekroju kołowym oraz szereg czujników kontrolujących pracę robota i warunki panujące w kanale.

Rola „Inspektora 1” nie ogranicza się tylko do biernej obserwacji kanałów wentylacyjnych. Za pomocą chwytaka można usuwać z kanału większe przeszkody i śmieci (min. woreczki foliowe, gałązki, ogryzki itp.), szufelka może nabierać materiały sypkie (piasek, ziemia) a szczotki czyszczące skutecznie usuną drobniejsze zanieczyszczenia (np. osadzony kurz).

Rejestrator obrotów kół, wyznaczając przejechaną drogę, umożliwia maszynie (po zaniku transmisji) samodzielny powrót do pozycji początkowej bądź wjazd w zasięg transmisji radiowej.

Robot wzbogacony o różne czujniki (min. przepływu i kierunku powietrza, gazu, wilgotności i temperatury) może dokładnie zdiagnozować kanał pod kątem sprawności oraz obecności gazu lub ognia. Te „umiejętności” poszerzają jego zastosowanie np. w ratownictwie czy straży pożarnej (penetracja trudno dostępnych miejsc, lokalizacja pożaru lub gazu, dostarczanie środków pomocy osobom uwięzionym pod gruzami itd.).

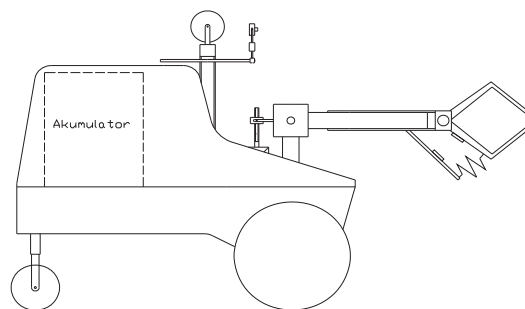
4.1. Elementy konstrukcyjne robota „Inspektor 1”

W celu uzyskania wytrzymałej konstrukcji o możliwie małym ciężarze, większość z jej komponentów składowych wykonana jest z aluminium. We wszystkich miejscach konstrukcji związanych z ruchem obrotowym stosowane są łożyska toczne lub przeguby.

Obudowa wykonana z cienkiej ocynkowanej blachy w miarę możliwości zostanie szczelnie dopasowana do poszczególnych komponentów robota, zabezpieczając go przed szkodliwym działaniem zanieczyszczeń.

Szacowana masa robota obejmuje konstrukcję mechaniczną oraz podzespoły elektroniczne. Szacowana masa nie powinna przekroczyć 5 kg. Robot o zbyt małej masie miałby problem z czyszczeniem powierzchni ścianek kanału wentylacyjnego. Dodatkowo powierzchnia robota działa jak żagiel w strumieniu przepływającego powietrza.

Szacunkowy czas pracy przy maksymalnym obciążeniu akumulatora rzędu 2,5 A/h to ok. 2 godziny. Szkic zewnętrzny robota zestawiono z podstawowych modułów mechanicznych (Rys. 1.)



Rys. 1. Szkic wyglądu zewnętrznego robota [1]
Fig. 1. Sketch of the external appearance of the robot [1]

Elementami konstrukcyjnymi robota są:

- platforma jezdna (podwozie) z silnikami napędowymi,
- ruchome ramię z wymiennymi końcówkami,
- wspomagające pionowe koło dociskowe,
- bezprzewodowa kamera z pozycjonerem.

4.1.1. Platforma jezdna (podwozie) z silnikami napędowymi

Robot będzie się poruszał po wąskich kanałach o przekroju prostokątnym lub kołowym, z załomami o kątach 90° . Jego podwozie cechuje się zwartą budową i jest dość zwrotne (zakręt o 360° robot wykonuje prawie w miejscu). Podwozie wykonane jest z blachy stalowej wzmocnionej konstrukcją z aluminiowych kątowników.

Układ jezdny bazuje na dwóch kołach zaopatrzonych w gumowe opony, które zwiększają ich przyczepność do podłoża, dwa tylne koła zapewniają konstrukcji stabilność i dużą zwrotność. Mogą się swobodnie obracać w dwóch płaszczyznach (jak kółko od fotela czy wózka). Dzięki temu podczas skrętu robota, zminimalizowane jest zużycie kół.

Koła napędowe nie mają możliwości obrotu w osi pionowej. Skręt odbywa się poprzez zmianę prędkości obrotowej na jednym z kół lub na obu – w przeciwnych kierunkach. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu dwóch silników z przekładniami RH158-12-200 firmy Micromotors, napędzających koła w niezależny sposób.

4.1.2. Ruchome ramię z wymiennymi końcówkami

Konstrukcję ramienia wykonano z profili aluminiowych zapewniających wymaganą sztywność a jednocześnie lekkość konstrukcji. Ramię przykręcone jest do platformy jeżdżącej robota i umieszczone na jego przedzie (Rys. 2, Fot. 2).

Zadania które ma realizować ramię robota „Inspektor 1” to:

- chwytanie różnych elementów,
- nabieranie materiałów sypkich,
- czyszczenie powierzchni,
- podpieranie awaryjne.

Ruchy ramienia odbywają się w trzech osiach:

- pionowej (obrót),
- poziomej (unoszenie),
- wzdłużnej (wysuw).

Do zmiany pozycji ramienia służą trzy silniczki elektryczne z przekładniami ślimakowymi utrzymujące daną pozycję ramienia po zaniku napięcia sterującego silnikiem.

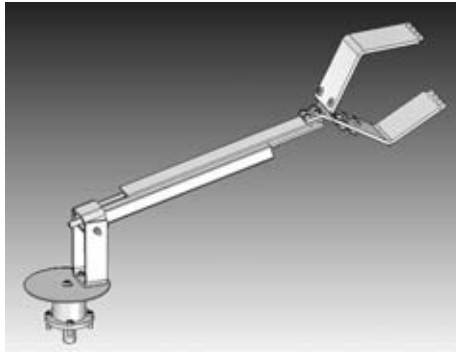
Końcówka robocza ramienia została wyposażona w kilka wymiennych elementów wykonawczych: chwytak z regulowaną rozwartością, szufelka z unoszeniem, szczotki obrotowe wzdłużne do kanałów o przekroju kołowym oraz szczotki obrotowe poprzeczne do kanałów o przekroju prostokątnym. Rzeczywistą konstrukcję ramienia robota wykonano w ramach prac Naukowego Koła Zastosowań Mechatroniki „ELMECH” przy Katedrze PKM Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej (Fot. 2).

Do realizacji funkcji nabierania elementów sypkich (piach, żwir, ziemia itp.) służy wymienna końcówka robocza – szufelka (Rys. 3). Posiada ona silnik elektryczny z przekładnią ślimakową umożliwiający uniesienie w górę jej końca, po nabraniu materiału sypkiego. Zabezpiecza to przed rozsypywaniem tego materiału podczas jazdy robota.

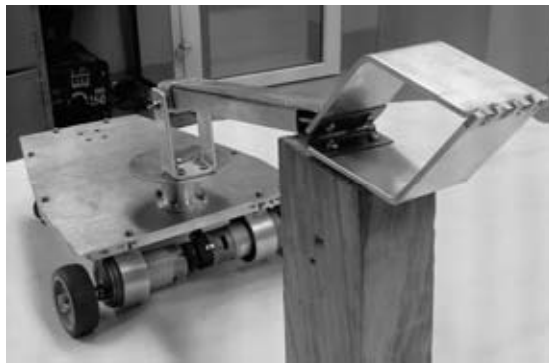
Jednym z podstawowych zadań robota jest czyszczenie kanałów wentylacyjnych. Do realizacji tego celu zostały wykorzystane szczotki obrotowe posiadające własny silnik elektryczny.

Występują dwa rodzaje szczotek (Rys. 4.):

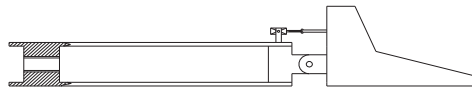
- szczotki obrotowe wzdłużne do czyszczenia kanałów o przekroju kołowym,
- szczotki obrotowe poprzeczne do czyszczenia kanałów o przekroju prostokątnym.



Rys. 2. Model konstrukcji ramienia robota z założonym chwytakiem [2]
Fig. 2. The model of robot arm construction with clutch [2]



Fot. 2. Widok rzeczywistego ramienia z chwytakiem wraz z platformą robota [2]
Pict. 2. The real of arm construction with clutch and the driving system of robot [2]



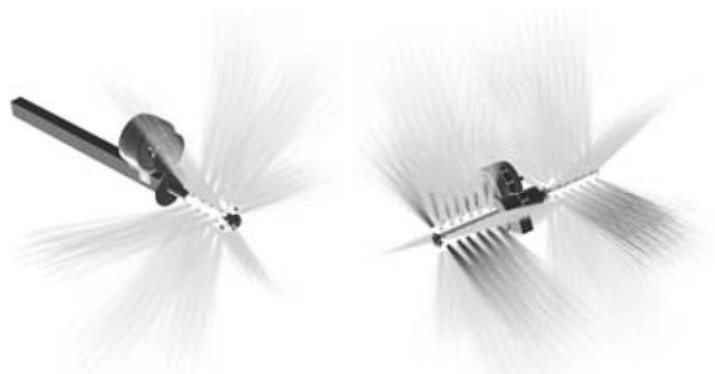
Rys. 3. Szufelka nabierająca [1]
Fig. 3. Taking in shovel [1]

Szczotki obrotowe wykonane są z mocnego i odpornego na ścieranie, długiego włosa które zgrupowane w wiązki, jest rozmieszczone prostopadle do osi obrotu całej szczotki. Pomiędzy wiązkami może swobodnie przepływać powietrze zachowując niezmienny przepływ ciągu w kanale. Długość włosa dostosowana jest do różnych średnic kanałów. Szczotki są wymienne. Obrót szczotek i ich tarcie o ścianki kanału wentylacyjnego powoduje zmiatanie drobin kurzu i brudu osiadłego na tych ściankach. Zasysający ciąg powietrza w kanale porywa ze sobą odrobiny kurzu wywiewając je na zewnątrz instalacji wentylacyjnej.

4.1.3. Wspomagające pionowe koło dociskowe

Wspomagające pionowe koło dociskowe (Rys. 5.) jest innowacją wprowadzoną do konstrukcji robota „Inspektor 1” w celu zwiększenia docisku kół do podłoża. Zapewni to zmniejszenie się poślizgu kół oraz możliwość jazdy pod większym nachyleniem lub w kanele pionowym. Siła docisku koła pionowego do górnej ścianki kanału wentylacyjnego jest regulowana za pomocą umieszczonego w konstrukcji czujnika nacisku. Silnik z przekładnią ślimakową podniesie

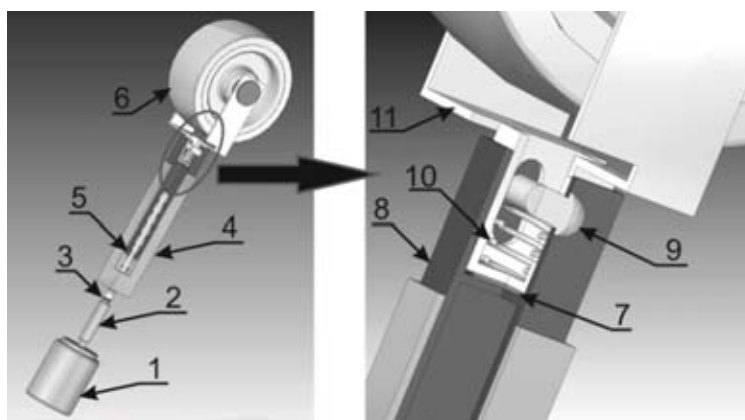
kolumnę koła pionowego tak, aby uzyskać określoną, zadaną siłę nacisku koła na ściankę górną kanału.



Rys. 4. Model szczotki wzdłużnej (oś obrotu wzdłuż kierunku jazdy) i szczotki poprzeczne (oś obrotu w poprzek kierunku jazdy)

Fig. 4. The model of brush about oblong pivot (cleaning ventilation canals about circled section) and traverse brushes (cleaning ventilation canals about square or rectangle section)

Silnik elektryczny 1 sterowany przez operatora lub program będzie obracał śrubą 3 powodując wysuwanie lub wsuwanie ramienia ruchomego 8 wraz z kołem 6. Czujnik nacisku 7 znajduje się między elementem ruchomym 8 a widełkami. Sprężyna 10 zapewnia docisk i zachowanie położenia widełek z kołem kiedy układ nie jest używany.



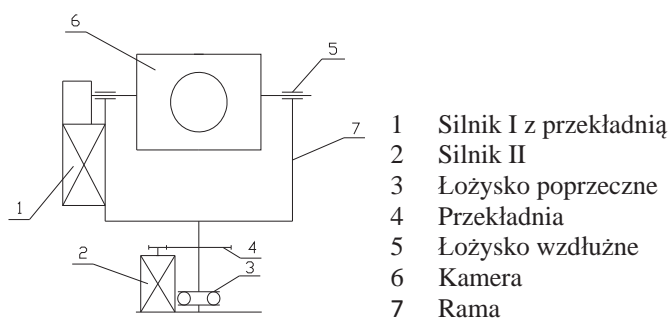
Rys. 5. Wspomagające pionowe koło dociskowe: 1 - silnik, 2 - sprzęgło, 3 - śruba, 4 - element nieruchomy, 5 - otwór gwintowany, 6 - koło, 7 - czujnik nacisku, 8 - ramię ruchome, 9 - nit lub śruba, 10 - sprężyna, 11 - element łączący koło z ramieniem ruchomym [3]

Fig. 5. Helping vertical tighten wheel: 1 - engine, 2 - clutch, 3 - screw, 4 - motionless element, 5 - threaded hole, 6 - wheel, 7 - push sensor, 8 - mobile arm, 9 - the rivet or the screw, 10 - spring, 11 - element joining the wheel to the mobile arm [3]

4.1.4. Bezprzewodowa kamera z pozycjonerem

Do konstrukcji pionowej kolumny wspomagającego koła dociskowego, na obrotowej podstawie przytwierdzona jest bezprzewodowa kolorowa kamera (rys. 6). Podczas obrotu podstawy kamera przekręca się o 360° dookoła osi. Rozwiązanie to zabezpiecza przed sytuacją, w której koło wspomagające mogłoby przesłaniać obraz widziany z kamery.

Silnik z przekładnią (1) został przytwierdzony do ramy (7) w sposób stały. Umożliwia on ruch kamerą (6) w górę i w dół. Kamera przytwierdzona jest do ramy za pomocą łożysk wzdłużnych (5). Silnik (2) umieszczony jest nieruchomo przy podstawie. Gdy napędza przekładnię (4), następuje obrócenie całej ramy (7) w prawą lub lewą stronę o wyznaczony przez sterującego kąt.



Rys. 6. Konstrukcja kamery robota wraz z pozycjonerem [1]

Fig. 6. Camera with camera tripod [1]

6. Wnioski

- Opisany projekt robota „Inspektor 1” jest urządzeniem mogącym konkurować z rozwiązaniami przemysłowymi tego typu. Zastosowanie w nim kilku czujników środowiskowych i innowacji sprawia, że w pewnych dziedzinach pracy przewyższa on funkcjonalnością roboty przemysłowe.
- Konstrukcja ramienia robota „Inspektor 1” została zaprojektowana do ruchu w trzech osiach, co pozwoli operatorowi na sprawne nim poruszanie oraz umożliwi głęboką penetrację kanału i dokładne jego czyszczenie.
- Zastosowanie w konstrukcji profili aluminiowych zapewnia uzyskanie wymaganej sztywności ramienia przy małej jego masie.
- Wymienne końcówki ramienia świadczą o jego uniwersalności w spełnianiu wielu różnych funkcji podczas pracy robota w kanałach wentylacyjnych.
- Nowatorskie zastosowanie wspomagającego pionowego koła dociskowego pozwala na zmniejszenie poślizgu kół oraz na możliwość jazdy robota w szybie pionowym.
- Robot może pracować wszędzie tam, gdzie warunki środowiskowe nie pozwalają na pracę człowieka (wąskie przesmyki, duże zapylenie, skażenie, niebezpieczeństwo zaważenia, wybuchu lub zagrożenie śmiercią).

Literatura

- [1] Filipek, P., SKN Elmech, *Prezentacja projektu konkursowego „Inspektor 1”*, Lublin 2008 (materiał niepublikowany).
- [2] Filipek, P., *Konstrukcja robota inspekcyjnego do kanałów wentylacyjnych na tle rozwiązań przemysłowych*, Rozdział monografii pod redakcją Józefa Jonaka, Wybrane problemy konstruowania i badań maszyn i mechanizmów, LTN, s. 80-97, Lublin 2009.
- [3] Jedliński, Ł., *Koncepcja układu wspomagającego ruch robota „Inspektor 1”*, Rozdział monografii pod redakcją Mariusza Kłonicy, Zagadnienia teoretyczno-eksperymentalne w przemyśle maszynowym, LTN, s. 129-140, Lublin 2009.