

Zbigniew Jan SETA¹

KONCEPCJA BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH PIASTY PNEUMATYCZNEJ

W referacie zwrócono uwagę na konieczność poprawy parametrów jezdnych platformy kołowej robota mobilnego, zbudowanego na bazie podwozia kołowego. Wskazano na problemy wynikające z przemieszczania się takiego pojazdu w trudnym terenie, oraz w związku z tym na jakość wykonania przez pojazd wyznaczonego zadania. Przedstawiono konstrukcję eksperymentalnej piasty pneumatycznej, której użyto do badań. Opisano koncepcję badań eksperymentalnych, których celem będzie określenie możliwości praktycznej realizacji przyjętej koncepcji optymalizacji własności jezdnych.

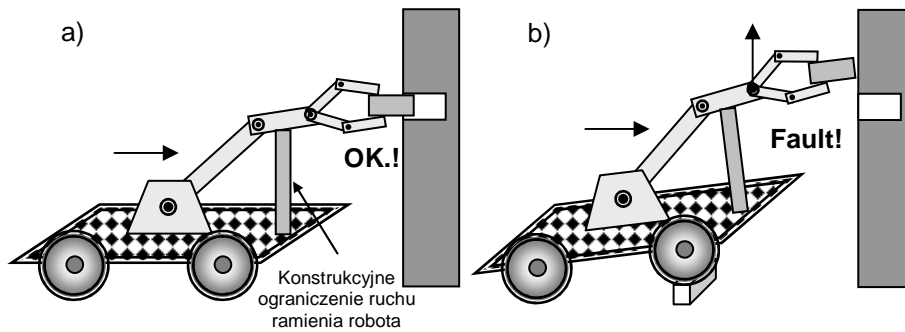
THE CONCEPT OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PNEUMATIC SEAL IN ASPECT OF OPTIMIZING THE CARRIAGEABLE PROPERTIES OF A VEHICULAR CHASSIS OF A MOBILE ROBOT

The main matter of concern of the article is the necessity of improving carriageable properties of a mobile robot constructed on the basis of a vehicular chassis. The problems resulting from relocating of such a robot in a difficult terrain which influences the quality of fulfilling the task by this vehicle are brought under discussion as well. Lots of attention is devoted to the construction of an experimental pneumatic seal which was used during a research. Finally, the article shows concept of experimental researches which the main purpose is to define the practical possibility of realization of an accepted concept of optimizing the carriageable properties of a mobile robot.

1. WSTĘP

W pracy [3] stwierdzono, że w zakresie poruszania się platform kołowych w terenie niezdeterminowanym spotykane najczęściej rozwiązania nie gwarantują należytej adaptacji takiego podwozia do napotkanych warunków jazdy. Na przykład poprzedzony wywiadem terenowym dobór odpowiedniego rodzaju kół podwozia nie gwarantuje optymalnych cech platformy do danego terenu w każdych warunkach. W pracy [9] wskazano również, że przy najczęściej spotykanym rozwiązaniu podwozia dla robota mobilnego, tj. zawieszeniu osi kół sztywnym (które to jest często stosowane m.in. ze względu na konieczność ograniczania wymiarów robota oraz prostotę realizacji konstrukcji podwozia), najazd koła na przeszkodę może utrudnić lub nawet wykluczyć realizację „powierzonego” zadania. Powyższy problem zilustrowano poglądowo na rys. 1.

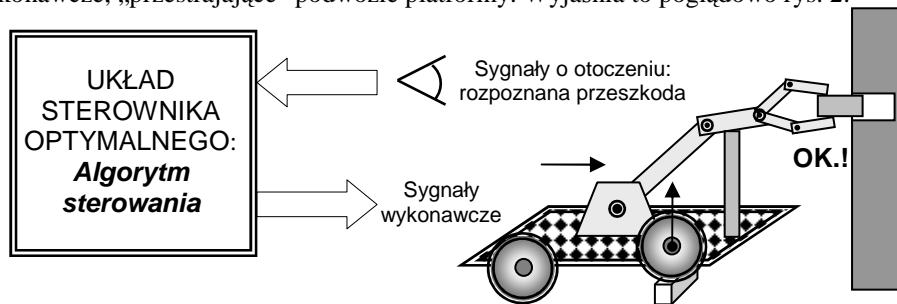
¹Politechnika Radomska, Wydział TiE, e-mail: z.seta@pr.radom.pl, tel.: +48 (048) 361 – 77 – 53.



Rys.1. Ilustracja wpływu najechania koła na przeszkodę na realizację zadania

Dojazd manipulatora z trzymany przedmiotem do ściany (rys. 1a) spowoduje, że zostanie on umieszczony we wnęce, bowiem na drodze ruchu kół platformy nie wystąpiła żadna przeszkoda. Rys. 1b pokazuje sytuację inną – przeszkoda na drodze ruchu wykluczy realizację zadania – przedmiot nie zostanie umieszczony we wnęce ściany, gdyż występuje trwałe ograniczenie konstrukcyjne ramienia robota w kierunku „do dołu”.

W pracy [8] przyjęto, że realizacja zawieszenia dla platformy kołowej zawsze w sposób optymalny do charakteru pokonywania terenu jest możliwa tylko przy założeniu, iż będzie można wpływać w sposób zmienny w czasie na charakterystykę odpowiednich elementów zawieszenia platformy. Założono, że można to zrealizować poprzez zastosowanie układu automatycznej regulacji o cechach sterowania mikroprocesorowego. Na wejścia tego układu należy wprowadzić sygnały charakteryzujące profil terenu (np. za pomocą czujników optycznych), zaś wynikiem realizacji algorytmu sterowania będą sygnały wykonawcze, „przestrajające” podwozie platformy. Wyjaśnia to poglądowo rys. 2.

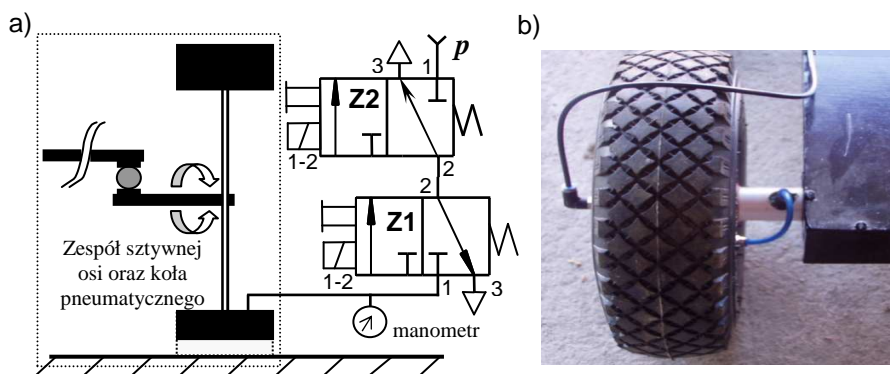


Rys. 2. Idea optymalnego sterowania podwoziem robota mobilnego

Najazd koła platformy na przeszkodę (podobnie jak na rys. 1b) wywołuje „reakcję” układu sterowania, polegającą na przestrojeniu elementów podwozia tak, aby w tym momencie odchylenie płaszczyzny platformy od kierunku ruchu robota było minimalne – przedmiot trzymany w manipulatorze zostanie umieszczony we wnęce (tak jak na rys. 1a).

Przyjęto dalej, że rozpatrując ruch platformy kołowej wyposażonej w osie sztywne należy rozważać tylko sposób modyfikacji parametrów sprężystych koła pneumatycznego

podczas jego ruchu po podłożu jako jedyne go elementu podatnego, na który można wpływać odpowiednim sterowaniem. Przeprowadzone badania eksperymentalne dotyczące przyjętej koncepcji modyfikacji współczynnika sprężystości koła pneumatycznego oraz wpływu tego procesu na realizację zadania zamieszczono w pracy [10]. Aby było to możliwe opracowano wtedy pneumatyczny układ wykonawczy. Rys. 3a ilustruje jego schemat funkcjonalny, zaś rys. 3b praktyczny sposób doprowadzenia powietrza do opony pneumatycznej w czasie ruchu koła po podłożu, zaproponowany na tamtym etapie prac.



Rys. 3. Pneumatyczny układ wykonawczy do modyfikacji ciśnienia w oponie

Pobudzenie (ręczne) zaworu **Z1** powodowało upuszczanie powietrza z opony w czasie ruchu koła poprzez otwarcie przelotu powietrza przez zaciski zaworów: **1 – 2 (Z1)** i **2 – 3 (Z2)**. Jednoczesne pobudzenie obu zaworów zwiększało ciśnienie w kole poprzez zaciski: **1 – 2 (Z2)** i **2 – 1 (Z1)**. Bieżące wartości ciśnienia odnotowywano przy użyciu wskaźnika manometrycznego.

Należy zaznaczyć, że ruch robota mobilnego w jego otoczeniu cechuje się zwykle małymi prędkościami. Pomimo faktu, iż w proponowanej koncepcji optymalnego sterowania według rys. 2 zmniejszanie ciśnienia w kole pneumatycznym nie jest szybkie, zaproponowany na rys. 3b sposób realizacji modyfikacji ciśnienia w oponie okazał się w praktyce mało skuteczny. W związku z tym dla realizacji dalszych badań eksperymentalnych, zakładających m.in. autonomiczny ruch podwozia kołowego w różnym terenie opracowano prototyp piasty pneumatycznej, który odpowiadałby odpowiednim przyjętym założeniom. (Istotne jej cechy zawarto w niniejszym referacie). Referat prezentuje również zaproponowaną koncepcję badań eksperymentalnych opracowanej piasty pneumatycznej.

2. KONCEPCJA BUDOWY PIASTY PNEUMATYCZNEJ

2.1 Przyjęte założenia konstrukcyjne

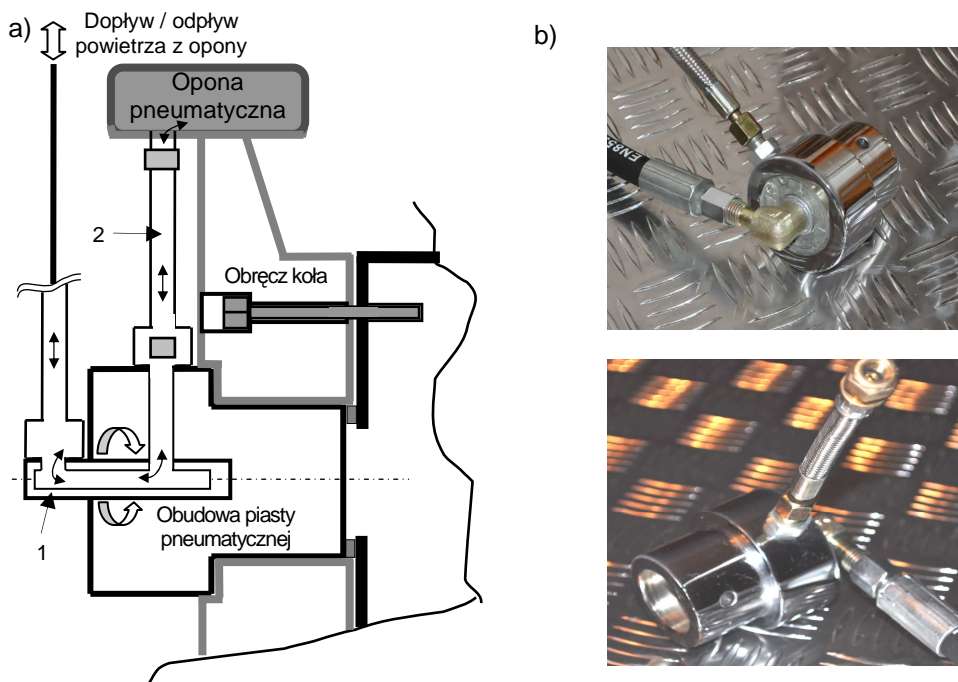
Według przyjętej w pracach [8][10] koncepcji optymalizacji oraz proponowanej metodyce badań eksperymentalnych na konstrukcję piasty pneumatycznej narzucono następujące uwarunkowania m.in.:

1. obudowa piasty powinna być mocowana w sposób trwały w osi koła; warunek ten oznacza, że w czasie ruchu koła po podłożu w różnych warunkach i prędkościach

- liniowych robota, zapewni on bezawaryjną pracę układu pneumatycznego związanego z kołem;
- konstrukcja piasty powinna zagwarantować ciągłość układu pneumatycznego na drodze: sprężarka (zbiornik ciśnienia) – układ sterowania - piasta pneumatyczna – opona pneumatyczna; rozwiązanie układowe piasty pneumatycznej powinno zapewnić powyższe w trakcie obracania się koła w obu kierunkach.

2.2 Konstrukcja i zamocowanie piasty pneumatycznej w osi koła platformy kołowej

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania przeanalizowano istniejące rozwiązania w tym zakresie. Skupiono się na rozwiązaniach mechanizmów obrotowych, które mogą pracować pod ciśnieniem sprężonego powietrza. Dodatkowym wskaźnikiem, które brano pod uwagę był fakt modyfikacji wartości ciśnienia powietrza przepływającego przez układ mechanizmu obrotowego w czasie jego pracy, oraz prędkość względna między obudową piasty a wałkiem, który jest z nią zintegrowany. Okazało się, że w tym zakresie nie można było posłużyć się żadnymi opracowaniami. W związku z powyższym zrealizowano prototyp piasty pneumatycznej. Schemat jej działania ilustruje rys. 4a, a jej rozwiązanie układowe rys. 4b. (Kompletny opis piasty znajduje się w [6] oraz [7]).



Rys. 4. a) Umieszczenie piasty pneumatycznej w osi koła: 1 – element obracający się względem obudowy piasty pneumatycznej, 2 – przewód ciśnieniowy; b) Widok zrealizowanego prototypu piasty pneumatycznej

W wyniku włączenia elementu 1 (rys. 4a) do układu pneumatycznego z rys. 3a możliwa się stała ciągła (w zależności od potrzeb) modyfikacja ciśnienia w oponie pneumatycznej w

czasie ruchu koła po podłożu. Powyższe osiągnięto poprzez obrotowe osadzenie elementu **1** w obudowie piasty pneumatycznej. W zrealizowanym prototypie piasty pneumatycznej (rys. 4b) zaznaczają się wyraźnie przewody ciśnieniowe, za pośrednictwem których należy włączyć układ piasty do układu wykonawczego z rys. 3a.

3. KONCEPCJA BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH PROTOTYPU PIASTY

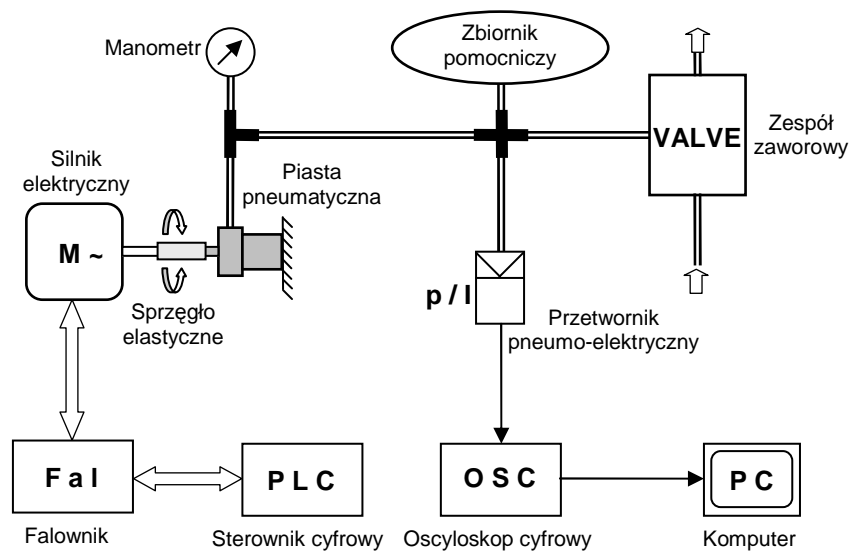
3.1 Problematyka badawcza

Ponieważ opracowany prototyp piasty pneumatycznej przeznaczony jest docelowo do wykorzystania w poruszającej się autonomicznie w różnym środowisku platformie kołowej o kołach pneumatycznych, koncepcję badań eksperymentalnych skierowano na taką realizację, aby zapewnić w miarę skuteczne odzwierciedlenie rzeczywistych warunków pracy piasty. Jest rzeczą oczywistą, że warunki laboratoryjne badań trudno jest niejednokrotnie skorelować z rzeczywistymi, jednak przyjmując pewne założenia, można się do nich zbliżyć.

W koncepcji badań eksperymentalnych prototypu piasty pneumatycznej proponuje się następujące kryteria jej oceny:

1. szczelność ciśnieniowa statyczna układu piasty włączonej do układu pneumatycznego;
2. szczelność ciśnieniowa dynamiczna układu piasty włączonej do układu pneumatycznego, gdzie w czasie ruchu elementu **1** (rys. 4a) względem obudowy piasty ciśnienie sprężonego powietrza będzie modyfikowane w sposób losowy.

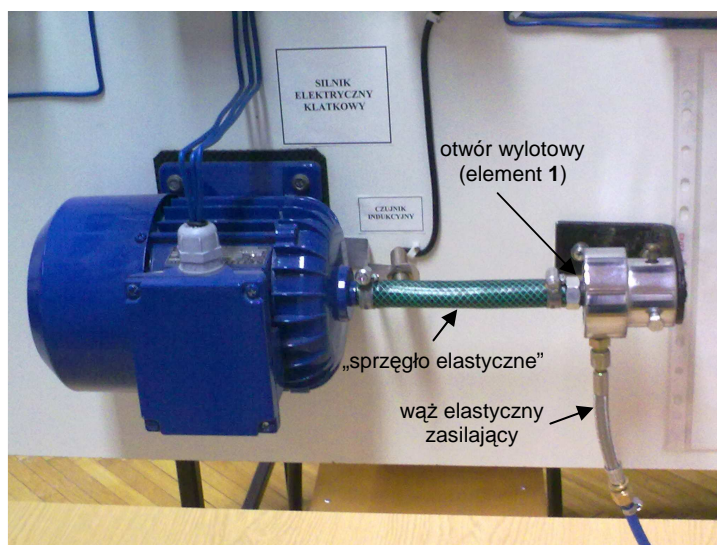
Schemat funkcjonalny stanowiska badawczego uwzględniającego możliwość badania piasty według powyższych kryteriów oceny zilustrowano na rys. 5.



Rys. 5. Schemat funkcjonalny stanowiska do badania prototypu piasty z rys. 4b

3.2 Realizacja stanowiska do badania piasty pneumatycznej

Na podstawie schematu funkcjonalnego z rys. 5 przy wykorzystaniu możliwości adaptacji istniejącego układu do badania napędu przemysłowego, który znajduje się w Zakładzie Automatykacji Procesów Politechniki Radomskiej zrealizowano stanowisko do eksperymentalnego badania piasty pneumatycznej. Rys. 6 ilustruje sposób podłączenia wałka piasty pneumatycznej z wałem silnika elektrycznego za pośrednictwem rodzaju sprzęgła elastycznego.



Rys. 6. Sposób sprzęgnięcia wałów za pośrednictwem elastycznego przewodu zbrojonego

Wykorzystanie sprzęgła elastycznego widocznego na rys. 6 było konieczne dla eliminacji niewspółosiowości między wałkiem napędowym (silnik elektryczny) a napędzanym (element 1 - piasta pneumatyczna – rys. 4a). Po serii prób jako sprzęgło elastyczne zastosowano zbrojony przewód hydrauliczny, mocowany do obu wałów w sposób trwały za pomocą odpowiednich ściskaczy.

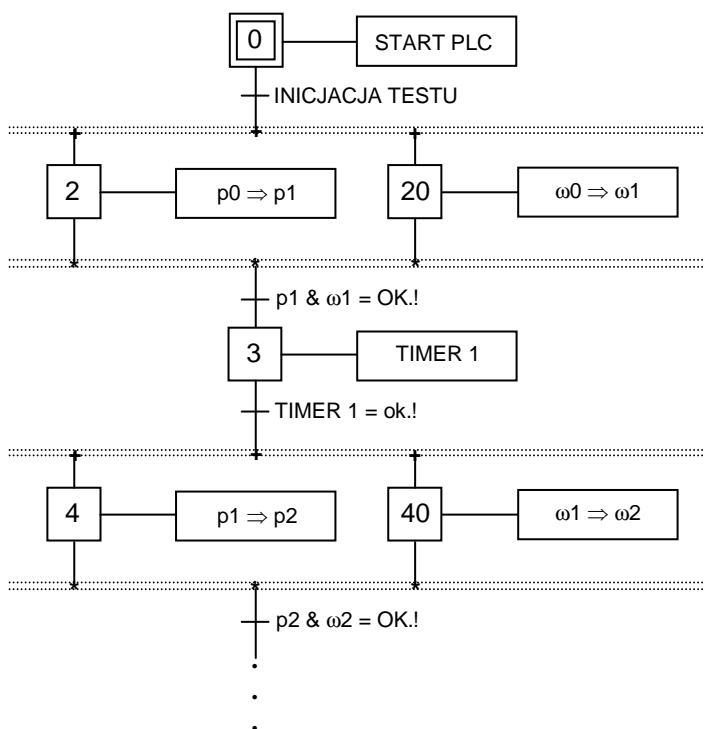
Otwór wylotowy elementu obracającego się piasty zaślepiono szczelnie śrubą z gwintem, która tym samym stała się wałkiem napędzanym przez silnik elektryczny. Przeprowadzone próby rozkręcania przez wał silnika elementu 1 do prędkości 1300 obr/min typu: *up* – *down* – *reverse* potwierdziły przydatność opracowanego sprzęgła elastycznego do dalszych badań eksperymentalnych.

4. ALGORYTM REALIZACJI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Opracowując koncepcję badań eksperymentalnych piasty pneumatycznej z rys. 4b posługując się koncepcją stanowiska uwidocznionego na rys. 5 i 6 przyjęto, że inicjacja eksperymentu uruchomi program zawarty w sterowniku cyfrowym PLC (jest on na wyposażeniu stanowiska do badania napędu przemysłowego). Po uruchomieniu sterownik PLC w sposób autonomiczny dokonywał będzie m.in. odpowiedniej serii sterowań

falownikiem dla zapewnienia zmiennej prędkości obrotowej wału silnika oraz jego kierunku, oraz „zadawał” będzie różne wartości ciśnienia roboczego powietrza.

Zgodnie z przyjętą koncepcją badań eksperymentalnych opracowano algorytm dla programu sterującego PLC, który uwzględni odpowiednie procedury testujące piastę pneumatyczną. Dla graficznego jego zilustrowania posłużono się metodą modelowania GRAFCET. Pokazuje to rys. 7.



Rys. 7. Algorytm GRAFCET dla procedur testujących układ piasty pneumatycznej

Aby uniezależnić aktualną wartość ciśnienia powietrza p w odniesieniu do prędkości obrotowej ω elementu **1** zaproponowano strukturę współbieżną algorytmu dla sterownika PLC. Jak wiadomo w strukturze współbieżnej raz rozpoczęte procedury są realizowane niezależnie od siebie w różnych horyzontach czasowych. Zastosowany czasomierz o oznaczeniu TIMER n ma za zadanie utrzymać przez pewien czas ustalone wartości prędkości ω i ciśnienia p na określonym poziomie.

Dla upodobnienia warunków badań eksperymentalnych do hipotetycznych rzeczywistych warunków pracy piasty pneumatycznej w układzie platformy kołowej, opracowany program PLC będzie m.in. w sposób losowy dobierać wartości ciśnienia p , prędkości obrotowej ω , kierunku wirowania elementu **1** oraz wartości czasu dla czasomierza.

5. WNIOSKI

Realizując pierwszy etap prób na stanowisku do eksperymentalnego badania piasty pneumatycznej stwierdzono, że zaproponowany schemat stanowiska spełni oczekiwania badawcze. Eksperymentalny rozruch elementu 1 piasty za pośrednictwem wału silnika elektrycznego (rys. 6) pokazał, że taki sposób połączenia gwarantuje ruch wałka piasty w obu kierunkach w prędkością ograniczoną tylko poprzez parametry silnika elektrycznego. Wykorzystanie falownika (w rzeczywistości przetwornicy częstotliwości firmy ANSALDO) oraz sterownika cyfrowego PLC (jednostka C7 – 621 rodziny SIMATIC firmy Siemens) przyczyni się do realizacji programowego obrotu elementu 1 piasty zgodnie z zaprojektowanym algorytmem GRAFCET (rys. 7).

Wydaje się, że przedstawiony w referacie sposób określenia przydatności proponowanego rozwiązania piasty pneumatycznej w aspekcie optymalizacji ruchu platformy kołowej robota mobilnego wykracza poza rzeczywiste warunki pracy piasty, które mogą się zdarzyć podczas użytkowania robota w trudnych warunkach.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lammel L., Osiadacz A.: *Pneumatyczne przetworniki Automatyki*. Wyd. WNT, '78.
- [2] Lanzendoerfer J., Szczepaniak C., Szosland A.: *Teoria ruchu samochodu*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 1988.
- [3] Łukasik Z., Seta Z.: *Wpływ własności jezdnych robota mobilnego na realizację zadania*. Konferencja LOGITRANS 2009.
- [4] Orzełowski S.: *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów*. Wydawnictwo WNT, Warszawa 1995.
- [5] Seta Z.: *Konstrukcja piasty pneumatycznej w zagadnieniu dynamicznego kształtowania ciśnienia w kole pojazdu*. Materiały niepublikowane. PR 2008.
- [6] Seta Z.: *Urządzenie do zasilania powietrzem skrętnego koła pneumatycznego podwozia mobilnego*. Zgłoszenie patentowe Nr P – 387914 (2009).
- [7] Seta Z.: *Zawór sterujący do zasilania powietrzem skrętnego koła pneumatycznego podwozia mobilnego*. Zgłoszenie patentowe Nr P – 387916 (2009).
- [8] Seta Z.: *Optymalizacja własności jezdnych platformy kołowej w otoczeniu niezdeterminowanym*. Seminarium: Sekcja Automatyki i Robotyki PIAP, Warszawa 03.06.2009.
- [9] Seta Z.: *Prototyp robota mobilnego w aspekcie optymalizacji ruchu w otoczeniu niezdeterminowanym*. 13th International Conference 'Computer Systems Aided Science, Industry, and Transport' Transcomp, Zakopane 2009.
- [10] Seta Z.: *Koncepcja optymalizacji własności jezdnych platformy robota mobilnego*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – seria Transport, Zeszyt Naukowy Nr 71, str.221-232, 2009.
- [11] Szenajch W.: *Napęd i sterowanie pneumatyczne*. Wyd. WNT, Warszawa 1997.