

Zbigniew Jan SETA

**OCENA FUNKCJONALNA SYSTEMU REGULACJI
CIŚNIENIA POWIETRZA KÓŁ PLATFORMY MOBILNEJ**

W referacie zawarto ocenę funkcjonalną systemu regulacji ciśnienia powietrza, który został zamontowany w podwoziu platformy o kołach pneumatycznych z własnym napędem. Badania eksperymentalne prowadzono na torze przeszkód o odpowiednio dobranym profilu terenu oraz podłożu. Zamieszczone rysunki ilustrują cechy systemu regulacji powietrza oraz sposób rozmieszczenia poszczególnych elementów systemu w podwoziu i nadwoziu platformy kołowej. Wnioski końcowe wskazują na koncepcję dalszych badań w kierunku rozwoju systemów regulacji ciśnienia powietrza dla kół platform mobilnych.

**THE ISSUE OF ASSESSING THE FUNCTIONAL
PRESSURE TIRE SYSTEM OF MOBILE PLATFORM**

This report deals with the issue of assessing the functional system of air pressure regulation which was fitted up to a chassis of a platform with pneumatic wheels with their own drive. The experimental research was carried out on an obstacle track (an extreme off-road route) with appropriately chosen profile of the terrain and a basis. Drawings which are included in the report illustrate the features of the air-regulation system and the way of seating appropriate elements of the system in the chassis and the body of the wheel platform. Final conclusions indicate the conception of further research in the area of the development of air-regulation system for mobile platform wheels.

1. WSTĘP

Skuteczne przemieszczanie się platform mobilnych w obranym terenie jest możliwe tylko przy założeniu, że parametry jezdne ich podwozi są dostosowane do aktualnych warunków zastanego środowiska ruchu. Dotyczy to zwłaszcza podwozi pojazdów takich jak: pojazdy wojskowe, ratownicze czy coraz częściej spotykane pojazdy specjalne – jeżdżące roboty specjalistyczne lub bezzałogowe platformy mobilne, które wspierają działania operatora i są zazwyczaj sterowane zdalnie. W pracach [2][9] zawarto analizę wpływu określonych parametrów jezdnych eksperymentalnej platformy mobilnej (o kołach pneumatycznych) na pokonywanie przeszkód, umieszczonych na jej drodze ruchu. Badania te pokazały, że przejazd typowego podwozia mobilnego (dwuosiowe o kołach pojedynczych bez własnego napędu) przez określone przeszkody może stanowić wyzwanie dla takiego pojazdu.

Należy nadmienić, że docelowe parametry jezdne wypracowywane są zazwyczaj na etapie projektowania podwozia pojazdu, a praktyczne potwierdzenie ich spełnienia sprawdzane jest poprzez szereg testów terenowych „pod użytkownika”, gdyż tzw. badania zdolności do pokonywania przeszkód nie wchodzą w zakres badań kwalifikacyjnych i tym samym nie są objęte wymaganiami stosownych norm. Zatem za każdym razem poszukiwana jest odpowiednia funkcja celu, która określi warunki dla optymalnego doboru elementów podwozia (takich jak koła, amortyzatory, sprężyny, itp.) do pokonywanego terenu przy występujących *a priori* ograniczeniach (np. miejsce do zabudowy tych elementów w podwoziu platformy mobilnej).

Analiza hipotetycznych zastosowań oraz praktycznego wykorzystania pojazdów mobilnych do różnych zadań pokazuje, że to w rodzinie pojazdów specjalnych, zwłaszcza bezzałogowych największy wpływ na skuteczność pokonywania przeszkód terenowych ma „niedopasowanie” parametrów podwozia do zastanego terenu. W skrajnych przypadkach pojazd taki (np. robot do rozminowywania terenu) nie wykona zadania, ponieważ jego podwozie „legitymuje” się w danym momencie niezmiennymi parametrami jezdny, ustalonymi wcześniej na etapie projektowania oraz późniejszego wykonania podwozia. Najczęściej w opracowanym już podwoziu mobilnym np. robota specjalistycznego można tylko zmodyfikować parametry kół pneumatycznych pod kątem przewidywanych trudności terenowych (zastosować np. inny rodzaj bieżnika, szerokość i wysokość profilu opony). Przyjmując, że np. w przypadku pojazdu specjalnego mamy najczęściej do czynienia z terenem niezdeteminowanym, takie zmiany parametrów podwozia mogą nie być wystarczające. Zatem należy poszukiwać takich rozwiązań, które w opracowywanym podwoziu mobilnym mogą zostać zaimplementowane, i które umożliwią dostosowanie właściwości jezdnych podwozia do aktualnie zastanych przeszkód terenowych.

W pracach [7][8][9] pokazano koncepcję oraz realizację praktyczną powyższego zamierzenia. W uproszczeniu sprowadziło się ono do opracowania eksperymentalnego układu pneumatycznego, umożliwiającego dynamiczną modyfikację ciśnienia powietrza w kołach platformy podczas jej ruchu po to, aby pojazd mógł poruszać się w terenie z przeszkodami. W badaniach eksperymentalnych udowodniono zasadność przyjętej koncepcji dla optymalizacji parametrów jezdnych platformy o kołach pneumatycznych.

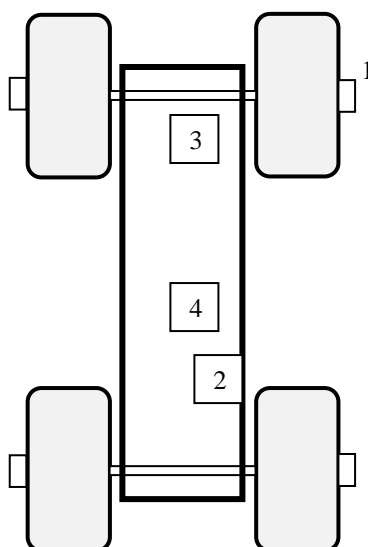
W cytowanym eksperymencie wykorzystano opracowaną na jego potrzeby platformę mobilną, która nie posiadała własnego napędu (poruszana była przy użyciu holu). Tym samym stanowiło to istotne ograniczenie w zakresie badań terenowych, które zaplanowano. Nie można było np. określić przydatności opracowanego rozwiązania modyfikacji ciśnienia powietrza w kole platformy przy dużych prędkościach obrotowych koła. Postanowiono zatem, aby w dalszym etapie badań wykorzystać pojazd mobilny z własnym napędem, w którego podwoziu będą zamontowane niezbędne urządzenia i oprzyrządowanie realizujące sterowanie ciśnieniem w każdym kole pojazdu wybiórczo lub osiowo.

Niniejszy referat omawia rezultaty badań eksperymentalnych, w których główny nacisk położono na poruszanie się pojazdu mobilnego w trudnym terenie. Różnica w odniesieniu do typowych badań, przeprowadzanych przez specjalizowane ośrodki i według określonej metodyki sprowadzała się do tego, że dysponowano pojazdem z możliwością sterowania wartością ciśnienia powietrza w każdym kole przy dowolnej prędkości obrotowej opony. W tego typu badaniach własności terenowych jest to unikalne podejście, które nigdzie nie było dotychczas stosowane. Na tym etapie badań skoncentrowano się na praktycznej ocenie funkcjonowania opracowanego systemu pneumatycznego w warunkach rzeczywistych.

2. OPIS SYSTEMU REGULACJI CIŚNIENIA POWIETRZA

2.1 Schemat funkcjonalny

Na podstawie wcześniej zrealizowanych wieloetapowych badań dotyczących optymalnego sposobu sterowania wartością ciśnienia powietrza w kołach pneumatycznych podwozi mobilnych oraz konstrukcji podwozia, którym dysponowano opracowano wstępną koncepcję rozmieszczenia układu pneumatycznego na fizycznym pojeździe (platformie mobilnej). Rys. 1 ilustruje schemat funkcjonalny posadowienia głównych elementów układu regulacji ciśnienia w pojeździe dwuosowym ze sterowaniem z kabiny kierowcy.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny systemu regulacji ciśnienia: 1 – piasta pneumatyczna; 2 – zespół zaworowy; 3 – pulpit i blok sygnalizacyjny; 4 – sprężarka i zbiornik

Dla poszczególnych elementów funkcjonalnych, wyszczególnionych na rys. 1. przewidziano następujące zadania:

1. piasta pneumatyczna – odbiór ciśnienia z magistrali pneumatycznej i doprowadzenie go do opony koła; piasta uczestniczy również w operacji upuszczania powietrza z koła we współpracy z zespołem zaworowym;
2. zespół zaworowy – uruchamianie m.in. procesu pompowania / upuszczania powietrza z koła; blok ten sterowany jest za pośrednictwem pulpitu sterującego;
3. pulpit i blok sygnalizacyjny – odbiór sygnałów od użytkownika systemu pneumatycznego (kierowcy pojazdu) oraz informowanie o bieżącej wartości ciśnienia w poszczególnych kołach pojazdu;
4. sprężarka i zbiornik – urządzenie dostarczające sprężone powietrze pod odpowiednim ciśnieniem do zbiornika, który stanowi tutaj akumulator (rezerwuuar) powietrza.

2.1 Rozmieszczenie elementów składowych systemu w podwoziu/nadwoziu

Wzmiankowana koncepcja regulacji ciśnienia w kołach pneumatycznych pojazdu mobilnego w czasie jego ruchu po terenie narzuciła odpowiednie podejście do realizacji całości projektu na podstawie rys. 1. Przede wszystkim, biorąc pod uwagę bezpieczeństwo ruchu należało rozwiązać problem bezpiecznego dostarczania ciśnienia do kół oraz jego upuszczania. W tym aspekcie w zakresie montażu zespołu piasty pneumatycznej (poz. 1 na rys.1) zdecydowano się wykorzystać opracowania, które były przedmiotem wcześniejszych zgłoszeń patentowych[5][6]. Na dalszym etapie prac rozwiązano problem rozmieszczenia instalacji pneumatycznej w podwoziu i nadwoziu pojazdu zgodnie z rys. 1. Poniższe obrazy ilustrują omówione wyżej i zrealizowane praktycznie zagadnienie.



Rys. 2. Montaż piasty pneumatycznej



Rys. 3. Umieszczenie zespołu zaworowego



Rys. 4. Pulpit i blok sygnalizacyjny



Rys. 5. Sprężarka i zbiornik powietrza

Po zmontowaniu całości układu pneumatycznego poddano go statycznej próbie ciśnieniowej, która miała wyeliminować ewentualne usterki montażowe. Nie stwierdzono wycieku powietrza z instalacji pneumatycznej, którą badano pod ciśnieniem 10barów.

3. OCENA FUNKCJONOWANIA SYSTEMU PODCZAS RUCHU W TERENIE

3.1 Metodyka badawcza

Przyjęcie koncepcji badań zgodnie z tytułem referatu określiło *de facto* jej sposób realizacji. Celem stało się zatem sprawdzenie zachowania się układu pneumatycznego podczas ruchu platformy (pojazdu) ze stosunkowo dużymi prędkościami w porównaniu do tych, przy których określano przydatność wzmiankowanej wcześniej eksperymentalnej platformy bez własnego napędu (ciągniętej holą). Ponieważ zamierzeniem autora referatu jest określenie uwarunkowań dla optymalizacji ruchu platform mobilnych o podwoziu kołowym w trudnym terenie, zaproponowano również badania skuteczności układu pneumatycznego w terenie zróżnicowanym (przy zachowaniu oczywiście pewnych proporcji – wykluczono ekstremalnie trudny teren, w którym pojazd mógłby ugrzęznąć).

Należy zaznaczyć, że nie istnieją polskie normy dotyczące badań pojazdów z systemem dynamicznej regulacji ciśnienia powietrza w kołach pneumatycznych. W systemy o podobnym działaniu wyposażone są niektóre pojazdy wojskowe (Hummer, Rosomak, IVECO Defence, UNIMOG, itp.), których badania przydatności pod tym kątem są utajnione i nie są publikowane. Zatem autor referatu nie mógł posłużyć się zaleceniami opracowanymi na użytek podobnych eksperymentów. Zaproponowano więc po głębokiej analizie docelowej przydatności takiego systemu własną koncepcję badań.

Koncepcja badań eksperymentalnych, przyjęta przez autora ujęta została w następujących wytycznych:

- realizacja pompowania / upuszczania powietrza z koła podczas jazdy po drodze utwardzonej ze zmiennymi prędkościami ruchu pojazdu z zakresu 0 do 90km/h;
- realizacja pompowania / upuszczania powietrza z koła podczas jazdy po terenie miękkim (śnieg, błoto, piasek) o niskim współczynniku nośności ze zmiennymi prędkościami ruchu pojazdu z zakresu 0 do 25km/h;
- wymuszenie awarii (wyciek powietrza z koła) i badanie sposobu reakcji układu kontroli na taką sytuację.

3.2 Realizacja badań eksperymentalnych

Dysponując określonego typu ogumieniem przyjęto bezpieczne wartości ciśnień w kołach platformy (pojazdu), które należy utrzymywać przy poruszaniu się po określonym terenie. Utrzymywane wartości ciśnień dla opony o rozmiarach: 215x75R15 typu *All Terrain* ilustruje Tab. 1.

Tab. 1. Wartości ciśnień w kole dla poszczególnych rodzajów terenu

Rodzaj terenu	Ciśnienie [bar]	Prędkość pojazdu
Droga utwardzona (asfalt)	2,4	do 90km/h
Droga utwardzona (ziemia)	1,8	do 50km/h
Droga nieutwardzona (śnieg, piasek, błoto)	0,7	do 30km/h

Przy realizacji badań eksperymentalnych przestrzegano następujących zaplanowanych procedur:

1. wstępne ustalenie ciśnienia bazowego w kołach pojazdu;
2. ruch platformy po podłożu z określoną prędkością jazdy;
3. modyfikacja ciśnienia w kołach pojazdu podczas ruchu po terenie;
4. dokumentacja każdej decyzji i zapis nowego parametru ciśnienia i prędkości jazdy.

Ze względów bezpieczeństwa założono, że modyfikacja ciśnienia w kołach platformy będzie następować tylko przy poruszaniu się po terenie nieutwardzonym z prędkością pojazdu do 25km/h.

Rys. 6 do 9 obrazują wybrane fragmenty terenu, na którym przeprowadzano badania eksperymentalne dla oceny funkcjonowania systemu regulacji powietrza w kołach platformy mobilnej.



Rys. 6. Wjazd na wzniesienie: $p_k=2,4bar$



Rys. 7. Wjazd na wzniesienie: $p_k=0,7bar$



Rys. 8. Przejazd przez mostek: $p_k=1,2bar$



Rys. 9. Ruch po drodze nieutwardzonej

4. WNIOSKI

Realizacja badań eksperymentalnych, których zadaniem było potwierdzenie skuteczności systemu regulacji ciśnienia powietrza dla kół platformy mobilnej pokazała, że opracowana wcześniej i przyjęta koncepcja ich przeprowadzenia była zasadna. Podczas ruchu pojazdu po różnym terenie i z różną prędkością wydawano decyzje modyfikacji ciśnienia powietrza w kołach celem obserwacji wpływu tych sterowań na kształt opony (wielkość powierzchni śladu) i w konsekwencji zachowania się pojazdu. Oczywiście podczas ruchu pojazdu przyleganie opony do podłoża nie mogło być empirycznie określone. Zrobiono to warunkach postoju na twardej nawierzchni. Powierzchnię przylegania opony do podłoża w zależności od wartości ciśnienia w kole ilustruje rys. 10.



Rys. 10. Orientacyjne powierzchnie śladu opony przy różnych wartościach ciśnień

Jednocześnie, co wynikało z wcześniejszych eksperymentów modyfikacja ciśnienia powietrza w kołach platformy zwiększała lub zmniejszała mobilność pojazdu, co również badano. Zwłaszcza było to widoczne przy pokonywaniu trudnych przeszkód. Rys. 6 i 7 pokazują przypadek próby wjazdu na strome wzniesienie przy bardzo miękkim (grząskim) terenie. Próba ta przy ciśnieniu nominalnym dla drogi utwardzonej (2,4bar) kończyła się za każdym razem zatrzymaniem pojazdu zaraz na początku stromizny (widoczny poślizg koła). Natomiast próba wjazdu przy ciśnieniu zmniejszonym do 0,7bar pokazała znaczący wzrost dzielności terenowej pojazdu napędzanego tylko przednią osią (z konieczności zatrzymano się przed szczytem, gdyż za wzniesieniem był teren zbyt trudny dla pojazdu, którym dysponowano). Wjazdów na stromiznę terenu dla obu przypadków dokonywano ze startu zatrzymanego w jednakowej odległości od wzniesienia oraz identycznym biegu.

Przeprowadzone badania potwierdziły również, że możliwa jest optymalizacja parametrów ruchu platform kołowych w środowisku niezdeteminowanym poprzez dynamiczne dostosowywanie ciśnienia w kołach platformy adekwatnie do rodzaju terenu. Wskazuje to na celowość dalszych badań nad opracowaniem użytecznej metody określania przez system sterowania ciśnieniem jakości gruntu, po którym koło pneumatyczne „zamierza” się poruszać dla ustalania właściwego ciśnienia powietrza w kole z wyprzedzeniem. Jest to znacząca różnica w odniesieniu do metody ustalania ciśnienia powietrza dla kół platform kołowych na podstawie przewidywanego rodzaju terenu.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lanzendoerfer J., Szczepaniak C., Szosland A.: *Teoria ruchu samochodu*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1988.
- [2] Łukasik Z., Seta Z.: *Wpływ własności jezdnych robota mobilnego na realizację zadania*. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna LOGITRANS, Szczyrk 2009.
- [3] Orzełowski S.: *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów*. Wydawnictwo WNT, Warszawa 1995.
- [4] Seta Z.: *Konstrukcja piasty pneumatycznej w zagadnieniu dynamicznego kształtowania ciśnienia w kole pojazdu*. Materiały niepublikowane. Politechnika Radomska 2008.
- [5] Seta Z.: *Urządzenie do zasilania powietrzem skrotnego koła pneumatycznego podwozia mobilnego*. Zgłoszenie patentowe Nr P – 387914 (2009).
- [6] Seta Z.: *Zawór sterujący do zasilania powietrzem skrotnego koła pneumatycznego podwozia mobilnego*. Zgłoszenie patentowe Nr P – 387916 (2009).
- [7] Seta Z.: *Optymalizacja własności jezdnych platformy kołowej w otoczeniu niezdeterminowanym*. Seminarium: Sekcja Automatyki i Robotyki PIAP, Warszawa 03.06.2009.
- [8] 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.
- [9] Seta Z.: *Koncepcja optymalizacji własności jezdnych platformy robota mobilnego*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – seria Transport, Zeszyt Naukowy Nr 71, str.221-232, 2009.
- [10] Seta Z.: *Koncepcja badań eksperymentalnych piasty pneumatycznej*. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna LOGITRANS, Szczyrk 2010.
- [11] Seta Z.: *Wpływ własności jezdnych robota mobilnego na realizację zadania*. 14th International Conference 'Computer Systems Aided Science, Industry, and Transport' Transcomp, Zakopane 2010.
- [12] Simiński P.: *Bezzałogowe platformy lądowe*. Prace Naukowe WSOWL, Zeszyt Naukowy Nr 3 (141) 2006.
- [13] Szenajch W.: *Napęd i sterowanie pneumatyczne*. Wyd. WNT, Warszawa 1997.