

Piotr WOŚ, Ryszard DINDORF

PROJEKT ELEKTRO - PNEUMATYCZNEGO SYMULATORA JAZDY SAMOCHODEM

Streszczenie

W referacie omówiono budowę prototypu symulatora jazdy samochodem. Przedstawiono model bryłowy urządzenia, zaproponowano rozwiązanie jego kinematyki w celu określenia wysuwu siłowników napędowych w funkcji przemieszczenia kąowego poszczególnych jego członów. Przedstawiono zagadnienia dotyczące wirtualnego prototypowania w celu wyznaczenia trajektorii ruchu i wielkości dynamicznych charakteryzujących symulator. Omówiono budowę układu sterowania przy zastosowaniu dedykowanej komputerowej karty sterującej.

WSTĘP

Zadaniem symulatora jazdy samochodem jest oddziaływanie na człowieka w ten sposób, aby wywołać w nim wrażenie ruchu. Efekt ten jest osiągany poprzez połączenie efektów wizualnych i dźwiękowych z ruchem platformy symulacyjnej. Symulator wykorzystywany jest, jako narzędzie badawcze do poznania reakcji kierowcy w różnych, symulowanych warunkach drogowych. Człowiek kierujący symulatorem poddany jest bodźcom zewnętrznym, które z kolei poprzez receptory oddziałują na zmysły człowieka. Platforma symulatora powinna generować ruch w taki sposób, aby kierowca poddawany był odpowiednim fizycznym przeciążeniom. Najpopularniejszymi rozwiązaniami tego typu są symulatory lotu oraz symulatory jazdy samochodem. Głównym wyzwaniem dla konstruktorów symulatorów jest wywołanie porównywalnych zachowań użytkownika symulatora i rzeczywistego pojazdu. Aby osiągnąć ten cel, konstruktorzy symulatorów umieszczają na specjalnych platformach ruchowych o wielu stopniach swobody rzeczywiste kabiny różnego typu pojazdów. Taki symulator jazdy jest narzędziem umożliwiającym uczestnikom symulacji prowadzić pojazd na wirtualnej drodze, przy czym symulowane warunki są przeprowadzane w bezpiecznych warunkach. Obecnie, symulatory jazdy przeznaczone do zadań badawczych i treningowych najczęściej wykorzystują platformę o 6-ciu stopniach swobody. Najbardziej zaawansowane wersje symulatorów wykorzystywane są do szkolenia pilotów zarówno wojskowych jak i cywilnych [3]. Ich budowa oparta jest najczęściej na platformie Stewart-a. Są to rozwiązania bardzo drogie ze względu na zastosowanie złożonych mechanizmów napędowych i układów sterujących.

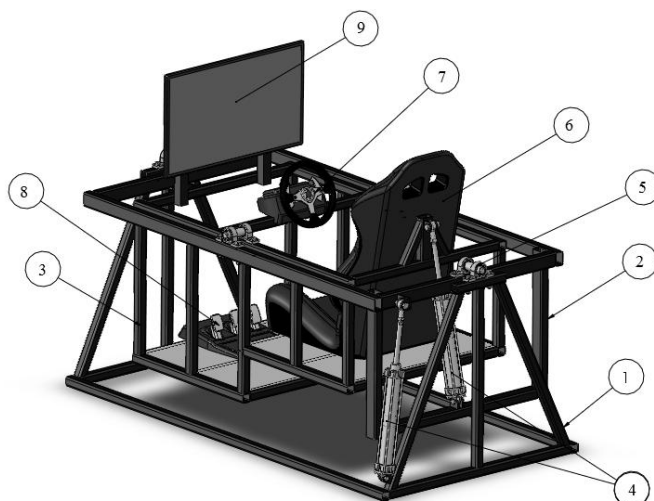
Do poruszania platformą symulatorów wykorzystuje się napędy hydrauliczne, pneumatyczne, liniowe siłowniki i silniki elektryczne. Napędy hydrauliczne ze względu na możliwość uzyskania dużych sił oraz dokładność wykorzystywane są głównie w profesjonalnych symulatorach szkoleniowych [5]. Natomiast do głównych zalet napędów elektrycznych jest ich łatwość w sterowaniu, wysoka sprawność oraz niski poziomem hałasu. Jest to najpopularniejsze rozwiązanie w symulatorach stworzonych dla rozrywki [7]. Najbardziej zaawansowane siłowniki tego typu wypierają napędy hydrauliczne w profesjonalnych symulatorach szkoleniowych.

Ze względu na prostotę konstrukcji i łatwość instalacji, najmniej popularne napędy pneumatyczne znajdują zastosowanie w symulatorach niskobudżetowych. Ich wadą jest mała nośność oraz mniejsza precyzja w porównaniu z innymi napędami. Dzięki rozwojowi systemów mechatronicznych konstruowanie tego typu urządzeń stało coraz popularniejsze [2]. Przez ostatnie lata powstało wiele

firm oferujących symulatory, które przy uproszczeniu konstrukcji (redukcja stopni swobody, wykorzystanie siłowników/silników elektrycznych i pneumatycznych) w porównaniu do profesjonalnych, typowo treningowych rozwiązań oferują równie wysoki poziom odwzorowania sił działających na człowieka [8].

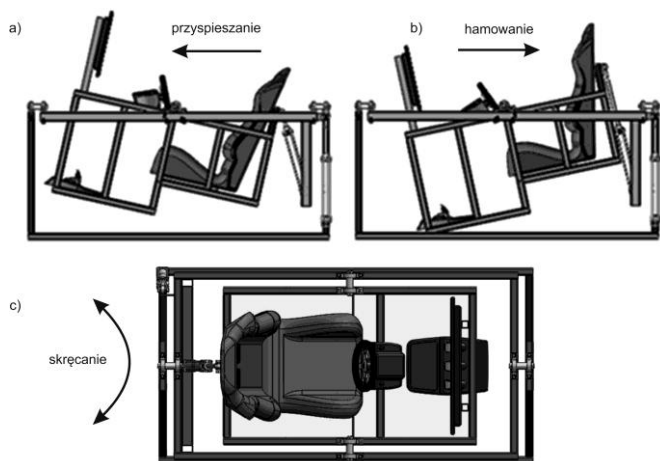
1. KONSTRUKCJA SYMULATORA

Model prototypu elektropneumatycznego symulatora jazdy samochodem przedstawiono na rysunku 1. W symulatorze tym do napędów członów ruchowych wykorzystano siłowniki pneumatyczne (4) [6]. Przesunięcia siłowników powodują ruch ram przechyłu do przodu-tyłu (2) i w bok (3), co z kolei umożliwia uzyskanie odpowiednich sił bezwładności działających na kierowcę. Obie ramy tworzą przegubowe powiązanie kinematyczne o dwóch stopniach swobody. Fotel kierowcy (6) zamontowany jest bezpośrednio na ramie przechyłowej (2). Symulator wyposażony jest w kierownicę, drążki sterujące (7) i monitor (9).



Rys. 1. Widok ogólny modelu symulatora: 1 - podstawa, 2-rama skrzętu, 3 - rama przyspieszenia i hamowania, 4 - siłowniki pneumatyczne, 5 - ułożyskowanie ruchomej ramy, 6 - fotel, 7 - kierownica, 8 - drążki sterujące, 9 - ekran projekcyjny [4].

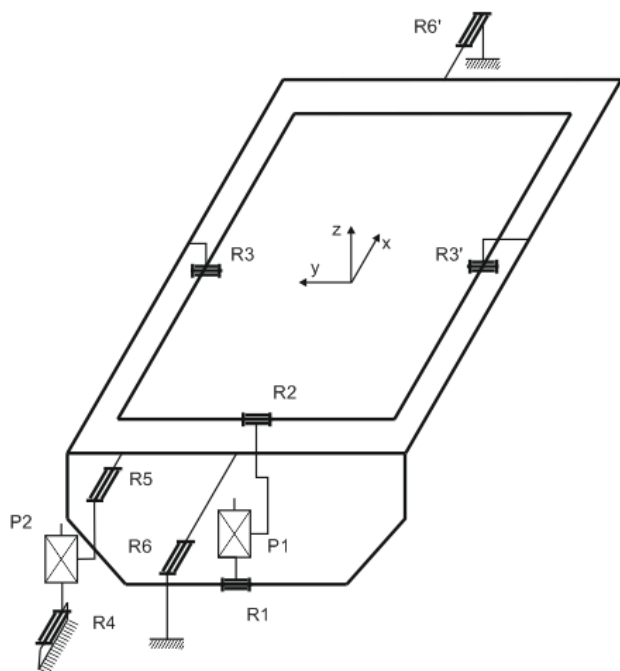
Taka konstrukcja urządzenia ma zapewnić imitowanie w czasie rzeczywistym panujące przeciążenia tak jak w poruszającym się samochodzie tj.: przyspieszenie, hamowanie, skręcanie, wznoszenie i opadanie.



Rys. 2. Reakcja się symulatora podczas jazdy a) przyspieszanie, b) hamowanie, c) skręcanie

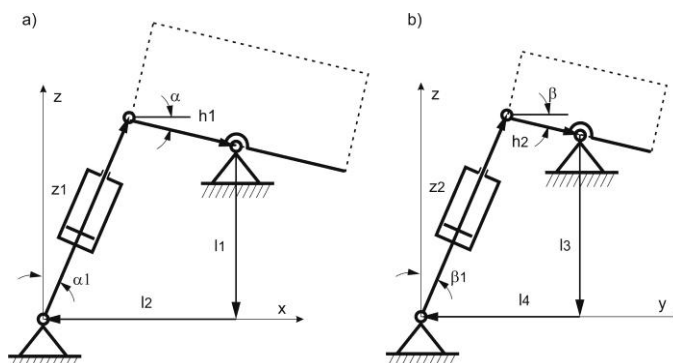
2. STRUKTURA KINEMATYCZNA SYMULATORA

Na rysunku 3 przedstawiono strukturę kinematyczną symulatora jazdy. Schemat przedstawia wzajemne relacje par w łańcuchu kinematycznym.



Rys. 3. Schemat kinematyczny symulatora

Struktura kinematyczna symulatora zawiera 3 pary rotacyjne - R_1, R_2, R_3 zapewniające ruch w trakcie przyspieszania i hamowania, 3 pary rotacyjne R_4, R_5, R_6 odpowiedzialne za przechył w trakcie skręcania. Napęd w projektowanym symulatorze zapewniają dwa siłowniki pneumatyczne (pary P_1 i P_2) [6].



Rys. 4. Płaski schemat kinematyczny osi symulatora: a) płaszczyzna xz, b) płaszczyzna yz.

Celem analizy kinematycznej jest określenie wartości przesunięć tłoczków siłowników pneumatycznych działających w dwóch prostopadłych płaszczyznach odpowiedzialnych za przyspieszanie-hamowanie Z_1 i skręcanie Z_2 . Analiza ta jest niezbędna dla prawidłowej pracy układu sterowania napędami symulatora. Cały układ można uprościć i rozpatrywać jako dwa niezależne mechanizmy płaskie (rys.4). Na rysunku 4 przedstawiono schemat kinematyczny mechanizmu wychyłu przód-tył (rys. 4a) i mechanizm przechyłu bocznego (rys. 4b). Ruchliwość w płaszczyznach xz i yz symulatora wynosi:

$$W = 3 * n - 2p_1 - p_2 = 3 * 3 - 2 * 4 = 1. \quad (1)$$

Gdzie: p_1 i p_2 są parami kinematycznymi klasy pierwszej i drugiej, p_1 na płaszczyźnie jest parą o ruchu obrotowym lub przesuwnym, n - liczba członów ruchomych łańcucha kinematycznego.

W celu określenia wielkości przesunięcia siłowników pneumatycznych Z_1, Z_2 zapewniających przechylenie przód-tył (Z_1) i przechylenie boczne (Z_2) stosując metodę analityczną otrzymujemy równania:

$$h_1 * \cos \alpha - l_2 = -z_1 * \sin(\alpha_1), \quad (2)$$

$$-h_1 * \sin \alpha - l_1 = -z_1 * \cos(\alpha_1), \quad (3)$$

$$h_2 * \cos \beta - l_4 = -z_2 * \sin(\beta_1), \quad (4)$$

$$-h_2 * \sin \beta - l_3 = -z_2 * \cos(\beta_1), \quad (5)$$

$$z_1 = d_1 + s_1, \quad (6)$$

$$z_2 = d_2 + s_2, \quad (7)$$

gdzie: d_1, d_2 - stała wartość.

Odpowiednio skok siłownika Z_1 i Z_2 wynosi:

$$s_1 = \sqrt{h^2 + l_2^2 + l_1^2 + 2 * h_1 * (l_1 * \sin \alpha - l_2 * \cos \alpha)} - d_1 \quad (8)$$

$$s_2 = \sqrt{h_2^2 + l_4^2 + l_3^2 + 2 * h_2 * (l_3 * \sin \beta - l_4 * \cos \beta)} - d_2 \quad (9)$$

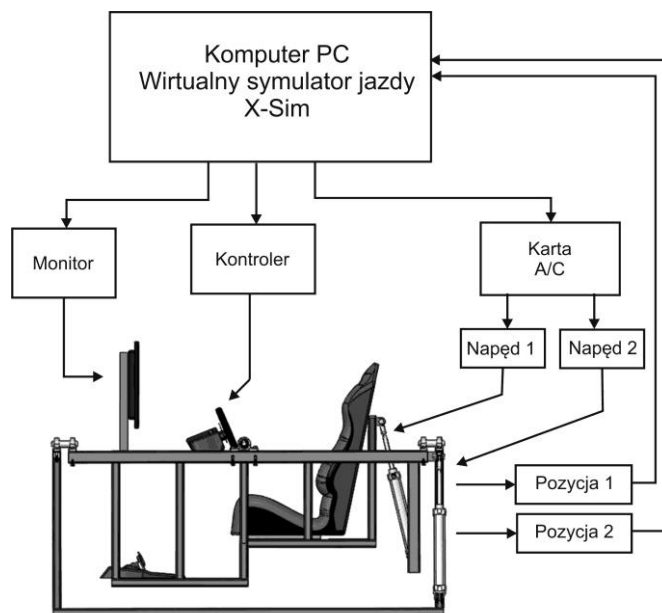
2.1. Mechatroniczne rozwiązanie zadań kinematyki

W celu weryfikacji modelu kinematycznego przeprowadzono szereg badań symulacyjnych przy użyciu oprogramowania *SolidWorks* (model fizyczny) i *Matlab/Simulink* (implementacja i badania symulacyjne). Oprogramowanie to umożliwia zaprojektowanie wirtualnego modelu i sprawdzenie jego zachowań przy ustalonych warunkach początkowych. Dzięki takiemu rozwiązaniu proces projektowania zostaje znacząco usprawniony i przyspieszony. Przy pomocy pakietu narzędziowego *SimMechanics* możliwe jest zaimportowanie gotowego modelu bryłowego z *SolidWorks* do *Matlab/Simulink*. Na rysunku 5 przedstawiono wirtualny model symulatora i wybrane parametry ruchu siedziska kierowcy dla zadanego cyklu pracy siłowników pneumatycznych, wyznaczone podczas symulacji w programie *SimMechanics*.

3. UKŁAD STEROWANIA

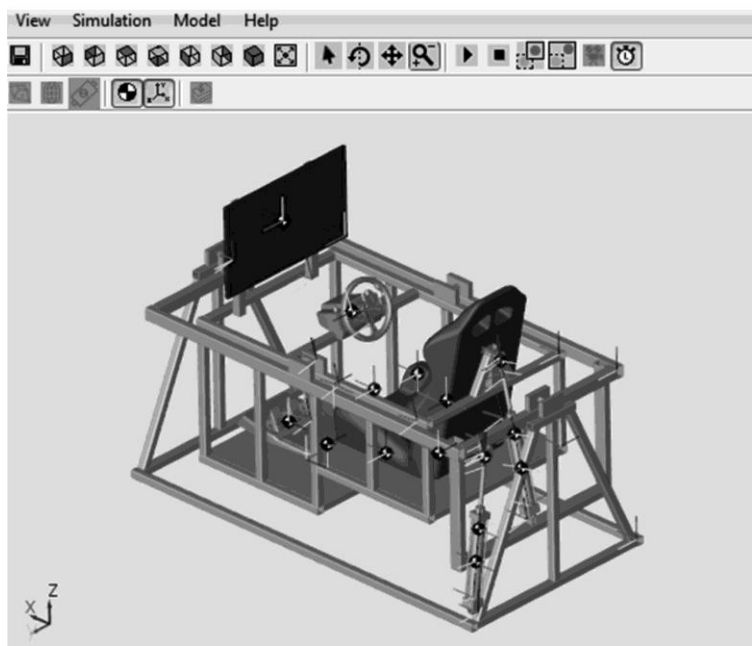
Blokowy układ sterowania manipulatorem przedstawiono na rysunku 6. Układ ten opracowano przy założeniu zastosowania napędów pneumatycznych sterowanych elektrycznie [6], gdzie jednostką sterującą jest komputer PC, współpracujący z dedykowaną kartą Velleman K8055. Dodatkowo na komputerze PC zainstalowano oprogramowanie *X-Sim* [8].

Na rysunku 7 przedstawiono schemat układu sterowania. Siłowniki (1,2), które poruszają symulatorem sterowane są za pomocą pneumatycznych zaworów rozdzielających 5/3 [2]. Położenie symulatora odczytywane jest za pomocą dwóch potencjometrów (po jednym na każdą oś napędową). Całość podłączona jest do karty sterującej Velleman K8055: zawory-wyjścia cyfrowe, potencjometry -wejścia analogowe. Karta połączona jest z komputerem PC za pomocą interfejsu USB. Do wygenerowania sygnałów sterujących symulatorem skorzystano z oprogramowania *X-Sim* [8].

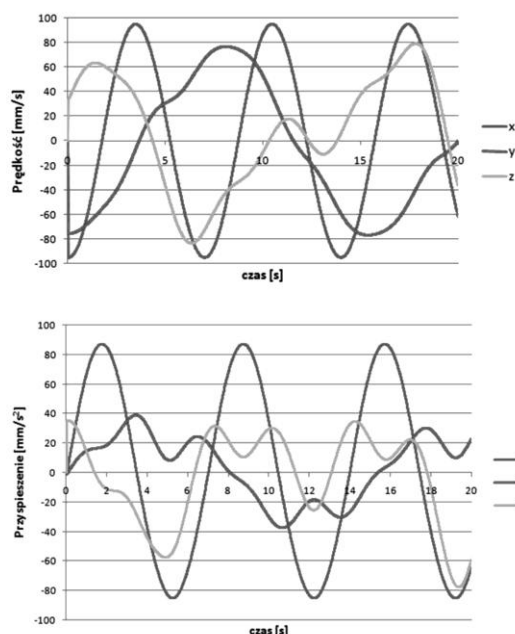


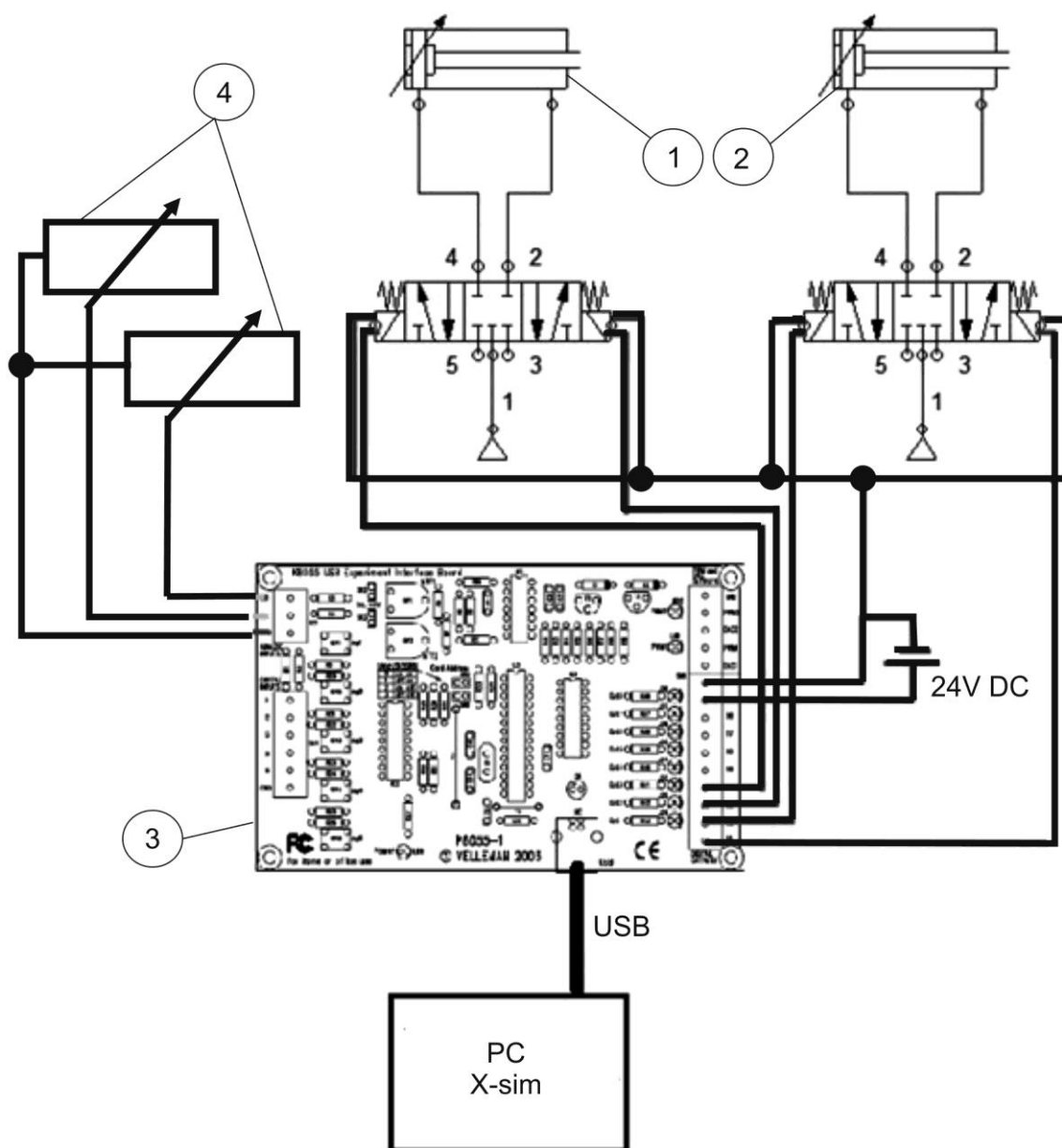
Rys. 6. Schemat blokowy działania symulatora

Oprogramowanie *X-Sim* współpracuje z większością dostępnych na rynku wirtualnych symulatorów gier. Jest to jego główną zaletą, ponieważ każdy producent gier wykorzystuje inną metodę exportu danych telemetrycznych w czasie rzeczywistym [2]. Oprogramowanie składa się z dwóch głównych modułów *X-sim extractor* oraz *X-sim converter*. Pierwszy z nich posiada "wtyczki" oraz narzędzia potrzebne do odczytania danych z gry, które następnie wykorzystywane są do kontroli symulatora [8]. Odczytane wartości m.in. takie jak: przeciążenia podłużne, poprzeczne, pionowe przesyłane są do modułu *X-sim converter*. Moduł *X-sim converter* służy do konwertowania zmiennych pochodzących z gry takich jak prędkość lub przyspieszenia na rzeczywisty ruch symulatora poprzez przetworzenie danych wejściowych z gry na dane sterujące pracą napędów.



Rys. 5. Wirtualny model symulatora





Rys. 7. Schemat układu sterowania: 1, 2 - siłowniki pneumatyczne, 3 - karta sterująca Velleman K8055, 4 - rezystancyjny pomiar położenia siłowników.

WNIOSKI

Przedstawiony w pracy projekt symulatora jazdy samochodem jest rozwiązaniem prostym i stosunkowo niedrogim w porównaniu do rozwiązań komercyjnych. Oryginalna konstrukcja ram nośnych i sterowanych umożliwia zastosowanie minimalnej ilości napędów-aktuatorów. W manipulatorze zastosowano pneumatyczne siłowniki napędowe jako rozwiązanie efektywne, ale w przypadku braku instalacji pneumatycznej, można do budowy symulatora z powodzeniem zastosować elektryczne aktuatory liniowe. Kolejnym ulepszeniem dla symulatora, będzie zastosowanie elektro-pneumatycznych lub elektro-hydraulicznych serwowymechanizmów pozycjonujących [1], przez co uzyskamy polepszoną dynamikę i płynność ruchu siedziska kierowcy.

BIBLIOGRAFIA

1. Dindorf R., Woś P., *Szybkie prototypowanie układu regulacji napędu elektrohydraulicznego*; Napędy i Sterowanie - Miesięcznik Techniczno-Informacyjny; Nr 10, s.18-22, 2005.
2. Dindorf R. and Woś P., *Distributed real-time control system for fluid power drives*, *Hydraulika a Pneumatika* No.1, pp.1-4, Slovakia, 2011.
3. Lozia Z., *Symulatory jazdy samochodem*, WKŁ. Warszawa. 2008.
4. Pazdur M., *Opracowanie elektropneumatycznego symulatora jazdy samochodem*, Praca magisterska, Politechnika Świętokrzyska, 2013.
5. Woś Piotr, Dindorf Ryszard, *Synchronized Trajectory Tracking Control of 3-DoF Hydraulic Translational Parallel Manipulator*, *Mechatronics - Ideas for Industrial Application, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Vol. 317, 269-277, 2014.

6. <http://www.boschrexroth.com>
7. <http://www.simcraft.com>
8. <http://www.x-sim.de>

THE PROJECT OF ELECTRO-PNEUMATIC DRIVING SIMULATOR

Abstract

The paper presents a prototype of driving simulator. A model of solid devices was proposed. Also, there was proposed the kinematics solution to determine the extension actuator drive as a function of the angular displacement of each of its members. The problems concerning virtual prototyping were shown in order to determine the trajectory and size of dynamic simulator. The construction of the control system using a dedicated computer control card was discussed.

Autorzy:

Woś Piotr - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, [Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii](#), al Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Tel: 41 34 24 532, Fax: 41 3424 439, [vos@tu.kielce.pl](mailto:wos@tu.kielce.pl),

Dindorf Ryszard - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, al Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Tel: 41 34 24 481, Fax: 41 3424 439, dindorf@tu.kielce.pl,