

Marek Ł. GRABANIA

PLATFORMY RUCHOWE W URZĄDZENIACH TRENINGOWYCH

Streszczenie. Artykuł omawia wybrane, obecnie stosowane rozwiązania pozwalające na symulację ruchu w urządzeniach treningowych. Omówione w artykule obszary wykorzystania symulacji ruchu obejmują zastosowania zarówno cywilne (symulatory nauki jazdy samochodem, lokomotywą, samolotem), jak i wojskowe (symulator czołgu, helikoptera, samolotu). Przedstawione zostały przykłady rozwiązań najprostszych, z mimośrodowym układem ruchu, do najbardziej złożonych platform o sześciu, a nawet ośmiu stopniach swobody.

Tabelaryczne zestawienia parametrów, praktyczne przykłady rozwiązań prezentowane na fotografiach ilustrują omawiane zagadnienia.

Słowa kluczowe: szkolenie, urządzenie treningowe, symulator, symulacja ruchu, platforma ruchowa.

1. WPROWADZENIE

W celu osiągnięcia jak najwyższego stopnia wyszkolenia zarówno w zakresie obsługi sprzętu, jak i urządzeń, powszechnie są stosowane symulacyjne techniki szkolenia.

Do tych celów konstruowane są nowoczesne urządzenia szkolno-treningowe (UST) wykorzystujące zdobycze nauki z zakresu informatyki, automatyki, elektroniki, optoelektroniki, mechaniki, napędów elektrycznych i hydraulicznych oraz dziedzin pokrewnych.

Charakterystyczną cechą tych urządzeń, a zwłaszcza symulatorów jest jak najwierniejsze odtworzenie warunków rzeczywistych.

Zazwyczaj jest jednak poszukiwany kompromis pomiędzy wiernością odtworzenia warunków rzeczywistych, ceną symulatora, a możliwymi do osiągnięcia wynikami szkolenia lub treningu.

Jednym z najtrudniejszych problemów do rozwiązania jest odtworzenie oddziaływania kształtu terenu, toru jazdy lub trajektorii lotu na ćwiczącą załogę.

Oddziaływanie musi być zsynchronizowane z obserwowanymi na ekranie /-ach zmieniającymi się obrazami terenu lub przestrzeni.

Skorelowanie tych dwóch funkcji (zmiana obrazu i odtworzenie bodźców ruchowych działających na człowieka w warunkach rzeczywistych) w decydujący sposób wpływa na warunki i efekty szkolenia uzyskiwane w symulatorze.

Jest to zarazem podstawowy element decydujący o końcowej ocenie konstrukcji urządzenia.

2. SYMULATORY

Jednymi z podstawowych urządzeń szkolno-treningowych wykorzystywanych w procesie szkolenia indywidualnego i zespołowego są obecnie symulatory. Znalazły one zastosowania zarówno cywilne, jak też (a może przede wszystkim) wojskowe.

Wśród licznych zastosowań symulatorów i trenażerów w procesie szkolenia możemy tu wymienić między innymi urządzenia stacjonarne:

- do nauki i obsługi urządzeń radarowych;
- do nauki i obsługi skomplikowanych systemów np. elektrowni jądrowych, nawigacji statków;
- do szkolenia taktycznego straży pożarnej;
- do szkolenia działań Policji w sytuacjach kryzysowych.

W grupie symulatorów należy wyodrębnić oddzielną grupę, która wykorzystuje oddziaływanie bodźców ruchowych na szkolonych. Urządzenia te zostały przedstawione poniżej na rys. od 1 do 5.

W użytkowaniu mają miejsce między innymi:

- Symulatory nauki jazdy (samochód osobowy, samochód ciężarowy, lokomotywa, tramwaj, samolot).

Na rys. 1 przedstawiony jest kompleksowy symulator kolejowy z hydraulicznym napędem ruchu (platformą ruchową) [1], wykonany przez polską firmę ETC - PZL Aerospace Industries sp. z o.o.



Rys.1. Kompleksowy symulator kolejowy [1]

- Symulatory nauki latania (samolot, helikopter).

Rys. 2 przedstawia jeden pierwszych symulatorów [2] do szkolenia pilotów wojskowych wykorzystujących platformę ruchową z hydraulicznym napędem ruchu i oryginalnym kokpitem samolotu.

Rys. 3 przedstawia natomiast polską konstrukcję kompleksowego symulatora lotu śmigłowca W-3WA "Sokół" [3]



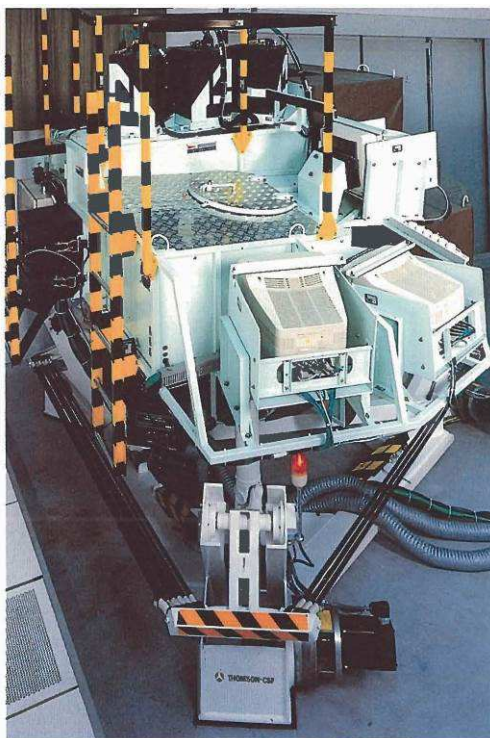
Rys.2. Symulator lotu samolotu F-16 [2]



Rys. 3. Kompleksowy symulator lotu śmigłowca W-3WA "Sokół" [3]

- Symulatory treningu ogniowego (obsługa wyrzutni ppk, załoga czołgu)

Innym przykładem organu ruchu jest symulator załogi wieży czołgu LECLERC z mechaniczno - elektrycznym układem napędowym ruchu [4] pokazany na rys.4.



Rys.4. Symulator załogi wieży czołgu LECLERC [4]

W użytkowaniu znajdują się także symulatory:

- Do szkolenia taktycznego wojsk na wybranych szczeblach dowodzenia.

Rys. 5 pokazuje symulatory [5] umieszczone w ośrodku szkoleniowym przeznaczonym dla kompleksowego treningu taktycznego plutonu załóg pojazdów gąsienicowych.



Rys.5. Ośrodek treningu taktycznego załóg plutonu czołgów

2.1. Symulacja ruchu

W grupie urządzeń szkolno-treningowych z symulacją ruchu podstawowymi elementami konstrukcji symulatorów są urządzenia ruchowe o wielu stopniach swobody i skomplikowania konstrukcji oraz wykorzystujące różne technologie i rozwiązania wymuszania ruchu.

Producenci symulatorów w zależności od przeznaczenia końcowego stosują rozwiązania własne lub też wykorzystują handlowe oferty wyspecjalizowanych firm.

Konstrukcja przestrzenna platformy (urządzenia ruchowego) pozwala zazwyczaj na zabudowę na niej kabiny symulatora.

Wśród znaczących producentów platform ruchowych należy wymienić:

- MOOG, USA [6], [7];
- Rexroth, Bosch Group [8], [9];
- E2M TECHNOLOGIES [10].

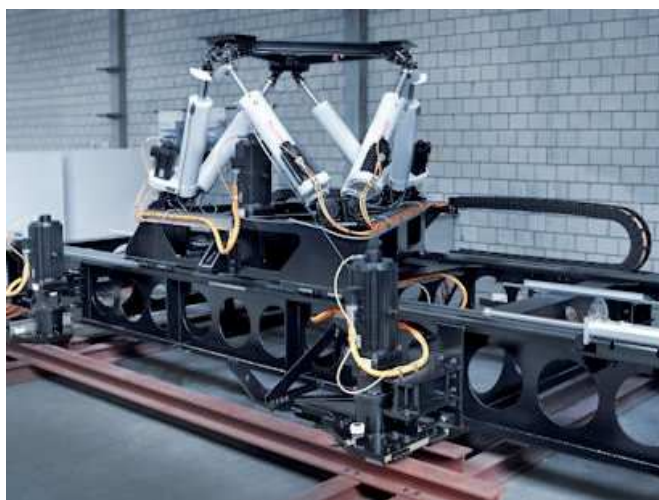
Na rynku polskim jedynym producentem [11] platform jest firma:

- ETC PZL Aerospace Industries sp. z o.o., Warszawa.

Podejmowane są w kraju także pojedyncze próby budowy platform ruchowych przeznaczonych do indywidualnych zastosowań w nietypowych projektach.

Platformy ruchowe posiadają możliwość wykonywania złożonych ruchów poprzez układy napędowe zabudowane pod ramą nośną lub nad nią w układzie tzw. platformy odwróconej. Dostępne są platformy lub specjalne urządzenia o 2, 3, 4, 5 lub 6 stopniach swobody [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Spotykane są także układy łączone – platforma ruchu o sześciu stopniach swobody połączona jest z mechaniczno – elektrycznymi układami napędowymi $x - y$, co pozwala otrzymać układ ruchu o 8 stopniach swobody [8].

Urządzenie takie przedstawione jest na rys. 6.



Rys.6. Złożony układ ruchu o ośmiu stopniach swobody [8]

Jako elementy napędowe są stosowane:

- silniki elektryczne z przekładniami mechanicznymi;

- kombinacje napędu elektrycznego z napędem hydraulicznym;
- napędy hydrauliczne;
- napędy elektryczne;
- napędy elektromagnetyczne.

Wymienione rozwiązania posiadają zarówno zalety, jak i wady. Wybór danego napędu zależy od warunków eksploatacji oraz wymagań postawionych przez klienta.

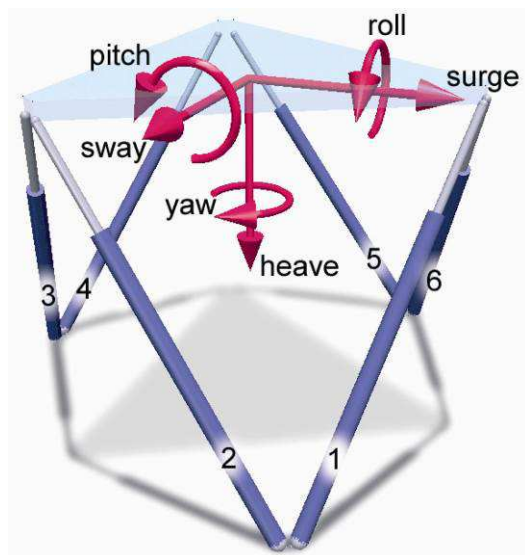
W poniższej tabelicy 1 zostały zestawione charakterystyczne cechy układów napędowych, które mogą być przydatne przy wstępnym doborze rodzaju napędu.

Tablica 1. Elektryczne i hydrauliczne systemy ruchu – porównanie [6]

NAPĘD HYDRAULICZNY	NAPĘD ELEKTRYCZNY
Zalety	Zalety
<ul style="list-style-type: none"> • Najwyższa wartość szczytowa przyspieszenia • Najmniejsze wymiary serwomechanizmów – niska wysokość platformy • Wytrzymałe serwomechanizmy (napędy) – jedna część ruchoma • Uśredniona linia zasilania mocy – akumulatory hydrauliczne • Prosta funkcja przzerwiania wykonywanego zadania (zatrzymanie ruchu) • Bardzo wysoka nośność platformy 	<ul style="list-style-type: none"> • Brak wycieków np. oleju z układu • Brak dodatkowych urządzeń • Wydajne <ul style="list-style-type: none"> ○ 1/4 do 1/2 mocy hydraulicznej ○ niższa emisja ciepła • Prosta eksploatacja <ul style="list-style-type: none"> ○ brak robót instalacyjnych ○ czysta, niskie ryzyko obsługi • Najprostsza instalacja • Brak skomplikowanych zaworów
Wady	Wady
<ul style="list-style-type: none"> • Wycieki oleju z układu • Hydrauliczna Jednostka Napędowa (ang.HPU) <ul style="list-style-type: none"> ○ duże gabaryty ○ generuje hałas ○ emituje ciepło ○ kosztowna eksploatacja(utrzymanie) • Najniższa wydajność • Czułe serwozawory • Krytyczny błąd w pracy – zacięty suwak zaworu sterującego • Niebezpieczny płyn (olej hydrauliczny) • Najbardziej złożona instalacja – oddzielna hydrauliczna jednostka napędowa (hydrauliczny układ zasilania) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ograniczone przyspieszenie • Bardziej złożony serwomechanizm • Bardziej złożone przzerwianie wykonywanego zadania (zatrzymanie ruchu) • Bardziej złożona elektronika • Częsty wymóg dostarczenia maksymalnej mocy

Podstawowe parametry techniczne, użyteczne dla projektanta, poza dopuszczalną masą zabudowy (nośnością platformy) to parametry ruchu dla poszczególnych stopni swobody DOF (ang. DOF – Degree of Freedom).

Na rys. 7 zostały opisane poszczególne stopnie swobody DOF stosowane przez producentów [8] platform ruchowych.



Sway = linear movement in X - axis (ruch liniowy w osi X);
Surge = linear movement in Y- axis (ruch liniowy w osi Y);
Heave = linear movement in Z- axis (ruch liniowy w osi Z);
Pitch = rotational movement around the X – axis (ruch obrotowy wokół osi X);
Roll = rotational movement around the Y – axis (ruch obrotowy wokół osi Y);
Yaw = rotational movement around the Z – axis (ruch obrotowy wokół osi Z).

Rys.7. Stopnie swobody (ang. Axis definition) platformy ruchowej 6 DOF

W tablicy 2 zestawione zostały podstawowe dane techniczne platform ruchu [7] o różnych napędach:

- elektrycznym;
- elektro-pneumatycznym;
- hydraulicznym.

Tablica 2. Dane techniczne platform ruchu [7]

TYP PLATFORMY	MB - E - DOF/12/1000kG (1)	MB-EP-6DOF/36/4500KG (2)	MB-H-6DOF/60/14515kG (3)
DOF - max. przesunięcie Przesunięcie w osi Y- max. (ang. Surge - single II max.)	-0,24m /+0,27m II -0,24m /+0,28m	-0,69m /+0,58m II ± 0,85m	-1,06m /+1,32m II ±1,40m
Przesunięcie w osi X – max. (ang. Sway - single II max.)	±0,23 m II ±0,24 m	± 0,69 II ± 0,74 m	±1,09m II ±1,51m
Przesunięcie w osi Z – max. (ang. Heave - single II max.)	±0,19m II ±0,19m	±0,59m II ±0,59m	±0,88m II ±0,88m
Obrót wokół osi Y – max. (ang. Roll - single II max.)	±19,6° II ±20,0°	± 23,0° II ± 26,0°	± 26,2° II ± 33,3°
Obrót wokół osi X – max. (ang. Pitch - single II max.)	-19,0°/+19,8° II-19,3°/+20, 1°	-23,0°/+25,0° II -29,0°/+32,0°	-24,2°/+26,8° II -32,7°/+37,2°
Obrót wokół osi Z – max. (ang. Yaw - single II max.)	±23,3° II ± 23,7°	± 26,0° II ± 29,0°	± 33,1° II ± 34,9°
DOF – max. prędkość Prędkość w osi Y (ang. Surge)	± 0,51 m/s	± 0,95 m/s	± 0,70 m/s
Prędkość w osi X (ang. Sway)	± 0,51 m/s	± 0,95 m/s	± 0,70 m/s
Prędkość w osi Z (ang. Heave)	± 0,30 m/s	± 0,75 m/s	± 0,60 m/s
Prędkość obrotowa – oś Y (ang. Roll)	± 30,0°/s	± 33,0°/s	± 20,0°/s

Tablica 2. c.d.

TYP PLATFORMY	MB - E - DOF/12/1000kG (1)	MB-EP-6DOF/36/4500KG (2)	MB-H-6DOF/60/14515kG (3)
DOF – max. przyspieszenie Przyspieszenie liniowe w osi Y (ang. Surge)	± 5,9 m/s ²	± 7,0 m/s ²	± 10,0 m/s ²
Przyspieszenie liniowe w osi X (ang. Sway)	± 5,9 m/s ²	± 7,0 m/s ²	± 10,0 m/s ²
Przyspieszenie liniowe w osi Z (ang. Heave)	- 4,9m/s ² , + 6,9 m/s ²	± 9,0 m/s ²	± 10,0 m/s ²
Przyspieszenie kątowe w osi Y (ang. Roll)	± 500°/s ²	± 200°/s ²	± 250°/s ²
Przyspieszenie kątowe w osi X (ang. Pitch)	± 500°/s ²	± 200°/s ²	± 250°/s ²
Przyspieszenie kątowe w osi Z (ang. Yaw)	± 500°/s ²	± 300°/s ²	± 250°/s ²
Nośność platformy (dopuszczalna masa)	1.158 kg	4.500 kg	14.515 kg
Rekomendowane zastosowania	Tanie systemy treningowe nauki jazdy samochodem, badania i rozwój, symulatory małych samolotów, symulatory morskie.	Symulatory lotu, samochodu, ciągnika, symulator czółgu.	Ruch kontrolowany komputerowo, platforma posiada specjalne oprogramowanie do projektowania sekwencji ruchu, komunikacja

Uwagi: 1. E - napęd elektryczny.

2. EP - napęd elektropneumatyczny.

3. H- napęd hydrauliczny.

Dla celów porównawczych parametry polskiej platformy z hydraulicznym wymuszeniem ruchu [11] zamieszczone są w tablicy 3. Platforma o skoku siłownika 1400 mm i nośności 3000 kg wykorzystana została między innymi do budowy symulatora samolotu I-22.

Tablica 3. Parametry ruchu platformy [11] o skoku siłownika 1400 mm.

Ruchy kątowe		Kąt	Prędkość	Przyspieszenie
	Pochylenie	$\pm 32^\circ$	$\pm 25^\circ/\text{s}$	$\pm 250^\circ/\text{s}^2$
	Przechylenie	$\pm 27^\circ$	$\pm 25^\circ/\text{s}$	$\pm 150^\circ/\text{s}^2$
	Odchylenie	$\pm 36^\circ$	$\pm 25^\circ/\text{s}$	$\pm 225^\circ/\text{s}^2$
Ruchy postępowe		Przesunięcie	Prędkość	Przyspieszenie
	Pionowe	+180 cm	$\pm 70 \text{ cm/s}$	$\pm 8 \text{ m/s}^2$
	Poprzeczne	$\pm 130 \text{ cm}$	$\pm 86 \text{ cm/s}$	$\pm 7 \text{ m/s}^2$
	Wzdłużne	$\pm 137 \text{ cm}$	$\pm 86 \text{ cm/s}$	$\pm 7 \text{ m/s}^2$

Uwagi: W tablicy 3 zachowane zostało nazewnictwo producenta [11].

3. PODSUMOWANIE

Nadal w środowiskach specjalistów są prowadzone badania i dyskusje – kiedy i w jakich warunkach należy szkolić na urządzeniach i symulatorach z układami ruchu.

Interesujący dla konstruktora/projektanta może być dokument [12] przedstawiający wyniki badań przeprowadzonych przez instytut badawczy armii USA omawiający wymagania potrzebne do spełnienia, kiedy celowym jest stosowanie w procesach szkolenia symulatorów zawierających urządzenia - platformy ruchowe.

Inną kwestią pozostaje wybór organu ruchu – napęd hydrauliczny czy elektryczny. W artykule [13] omówione są najważniejsze aspekty stosowania platform z elektrycznymi oraz hydraulicznymi układami napędowymi.

Pokazane w tablicy 1 cechy charakterystyczne układów ruchu oraz wybrane parametry (Tablica 2 oraz 3) trzech różnych typów układu ruchu (platform) mogą być pomocne konstruktorowi symulatora do wstępnego doboru układu ruchu.

Końcowa postać organu ruchu i jego parametrów jest wypadkową wymagań klienta i przyjętych założeń technicznych, a także ceny zakupu lub wytworzenia.

W pewnych przypadkach celowym jest opracowanie własnej konstrukcji układu napędowego ruchu w urządzeniu treningowym. Takim przykładem może być symulator realizowany w ramach projektu rozwojowego przez Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach [14]. Symulator przeznaczony jest do nauki jazdy samochodem osobowym przez osoby z dysfunkcją ruchu. Zbudowany jest na platformie hexapoda o sześciu stopniach swobody. Sterowanie platformą odbywa się w oparciu o zadanie odwrotnej kinematyki platformy Stewarta (hexapod) i napędzanej układem sześciu silników elektrycznych.

4. LITERATURA

- [1] Kompleksowy symulator kolejowy. Karta informacyjna. ETC - PZL Aerospace Industries sp. z o.o. Warszawa, październik 2012, <http://www.ai.com.pl>
- [2] Annual Report 1993. National Aerospace Laboratory NLR. Amsterdam, The Netherlands.
- [3] Kompleksowy symulator lotu śmigłowca W-3WA "Sokół". ETC - PZL Aerospace Industries sp. z o.o., Warszawa, październik 2012. <http://www.ai.com.pl>
- [4] The World's Leading Force In Armoured Vehicle Simulation. Thomson Training & Simulation. France. September 1995.
- [5] Simulation & Training. Karta katalogowa. RUAG Electronics Ltd. Switzerland. Juni 2008.
- [6] ELECTRIC MOTION SYSTEMS FOR TRAINING APPLICATIONS. MOOG INC. USA. April 1995.
- [7] MOTION SYSTEMS. ELECTRIC AND HYDRAULIC MOTION SYSTEMS FOR A WIDE RANGE OF PAYLOAD APPLICATIONS. MOOG, Inc. USA. October 2011.
- [8] Systems & Engineering Motion Technology. Drive and Control for Simulation in Best Practice. Rexroth. Bosch Group. December 2010.
- [9] Reference list 3,6 and 8 DOF Electric Motion Systems. Rexroth. Bosch Group. 8 January 2008.
- [10] E2M TECHNOLOGIES, Amsterdam, The Netherlands.
<http://www.e2mtechnologies.eu/E2Mbrochure2011.pdf> , November 2012.
- [11] Platforma hydrauliczna o sześciu stopniach swobody. Karta katalogowa MP-PZL Aerospace Industries Ltd. Warszawa.
- [12] Boldovici J.A.: Simulator Motion. Technical Report 961. United States Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. USA. September 1992.
- [13] THE EMOTION OF MOTION. MT& SW. Vol.3. Issue 1- January 2001. (Page 28-33).
- [14] „Mechatroniczny integrator procedur sterowania pojazdem przez osoby niepełnosprawne”. Projekt rozwojowy nr NR 003 0005 10 finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie. Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Politechnika Śląska. Gliwice 2011-2013.

MOTION PLATFORMS IN TRAINING EQUIPMENT

Abstract. The paper discusses selected currently applied solutions for motion simulation in training equipment. The application areas of motion simulation discussed in the paper cover both civilian (car or locomotive driving simulators, aeroplane flight simulators) as well as military (tank, helicopter, aircraft simulators) applications. Examples are given ranging from the most simple solutions with an eccentric motion system to the most sophisticated platforms with six, or even eight degrees of freedom.

Parameters are listed in tables, practical embodiments of various designs are shown in photographs to illustrate the problems discussed.

Keywords: training, training equipment, simulator, motion simulation, motion platform.