

Koncepcja symulatora do nauki jazdy samochodem dla osób niepełnosprawnych: założenia systemu, określenia wymaganych przyśpieszeń metodami eksperymentalnymi w ruchu ulicznym

Gabriel Kost, Daniel Reclik, Waław Banaś, Tomasz Dzitkowski, Andrzej Dymarek, Piotr Ociepka, Krzysztof Herbuś, Grzegorz Gołda

Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

Streszczenie: W 2010 roku na Politechnice Śląskiej rozpoczęto prace nad utworzeniem specjalistycznego symulatora do nauki jazdy samochodem dla osób niepełnosprawnych ruchowo. Głównym celem, jaki przyświecał projektowi było umożliwienie osobom z dysfunkcjami kończyn dolnych osvajania się w sposób bezpieczny z obsługą samochodu po specjalistycznym przystosowaniu dla osób niepełnosprawnych poza ruchem ulicznym. Obsługa takiego pojazdu w sposób znaczący różni się od obsługi typowego pojazdu, gdyż wymaga dodatkowej obsługi ręcznej manetki gazu i hamulca, co w sposób znaczący zmienia przyzwyczajenia kierowcy, gdyż tą samą ręką musi on zmieniać biegi i hamować (a czasami jeszcze obsługiwać przełącznik wycieraczek). W tym celu opracowywany symulator musi w najwyższym stopniu odzwierciedlać obsługę pojazdu, tak aby kursanci mogli przygotować się i wypracować poprawne nawyki zanim zostaną dopuszczeni do ćwiczeń praktycznych w ruchu ulicznym w rzeczywistym pojeździe. Aby dodatkowo przyzwyczaić kursantów do zachowań pojazdu koniecznym było opracowanie projektu systemu odzwierciedlania przeciążeń występujących w pojeździe podczas ruchu ulicznego, tak aby kursanci mogli nabrać poprawnych nawyków (np. zmniejszania prędkości przed wejściem w zakręt). Aby wyznaczyć pożądane wartości przeciążeń, jakie muszą być możliwe do wygenerowania przez układ napędowy platformy nośnej symulatora wykonany został eksperyment z udziałem rzeczywistego pojazdu wyposażonego w czujniki akcelerometryczne rozmieszczone w kilku miejscach otaczających przestrzeń zajmowaną przez kierowcę. Otrzymane na drodze eksperymentu wartości przyspieszeń stanowiły podstawę do wykonania założeń dotyczących mocy napędów platformy nośnej symulatora.

Słowa kluczowe: platforma Stewarta, nauka jazdy osób niepełnosprawnych, wirtualna rzeczywistość, mechatroniczny integrator, sterowanie

Niniejsza publikacja zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych czynności związanych z opracowaniem założeń i koncepcji przyszłego symulatora, ze szczególnym

uwzględnieniem procesu przygotowania ogólnej koncepcji stanowiska, przyjętych założeń dotyczących struktury funkcjonalnej, której rozwinięcie pozwoliło na sformułowanie założeń projektowych a także sposobu wyznaczenia wymaganych wartości przyśpieszeń związanych z symulowaniem odczuć w rzeczywistym pojeździe.

1. Wprowadzenie

Aktywizacja i integracja osób niepełnosprawnych jest bardzo ważnym aspektem społecznym. Osoby niepełnosprawne, które chcą aktywnie uczestniczyć w życiu społecznym muszą być mobilne. Jest to szczególnie ważne w przypadku aktywizacji zawodowej. Stąd dla wielu osób z dysfunkcjami kończyn niezbędne jest posiadanie odpowiednio przystosowanego samochodu wraz z uprawnieniami do jego prowadzenia. Innym ważnym aspektem jest podjęcie decyzji, czy dana osoba może ubiegać się i otrzymać takie uprawnienia i czy nie będzie stanowiła zagrożenia w ruchu drogowym. Dlatego autorzy podjęli próbę opracowania i zbudowania trenera do nauki jazdy samochodem osobowym przystosowanym dla osób niepełnosprawnych [1, 2].

2. Struktura funkcjonalna symulatora

Całość prac nad projektem mechatronicznego integratora procedur sterowania symulatora pojazdu dla osób niepełnosprawnych rozpoczęto od ogólnego rozplanowania prac projektowych. W tym celu przygotowano zarys struktury funkcjonalnej z uwzględnieniem niezbędnych podsystemów, których obecność w przyszłym stanowisku jest konieczna [1, 2]. Pozostałe podsystemy będą traktowane jako obiekty dodatkowe, lub podsystemy już wyszczególnionych grup funkcjonalnych, do których należą:

- podsystem sterowania pojazdem, w skład którego wchodzi karoseria rzeczywistego pojazdu wyposażonego w urządzenia wspomagające osoby niepełnosprawne w prowadzeniu pojazdu oraz oprzyrządowanie pozwalające na generowanie wymuszeń do środowiska wirtualnego symulatora,

- podsystem wizualizacji i generowania dźwięku złożony z oprogramowania oraz komputerów i urządzeń odpowiedzialnych za wizualizację wirtualnego środowiska symulatora i generowanie efektów dźwiękowych, a także monitorowanie i rejestracja przebiegu szkolenia
- podsystem symulacji dynamiki samochodu, który jest odpowiedzialny za generowanie odczucia ruchu dla osób znajdujących się w samochodzie. Podsystem ten będzie bazował na platformie Stewarta, która będzie umożliwiała symulowanie ruchów, drgań oraz przyspieszeń odczuwalnych podczas jazdy samochodem
- podsystem bezpieczeństwa obejmujący podzespoły zapewniające bezpieczne użytkowanie symulatora.

Opracowaną strukturę pokazano na rys. 1. Wszystkie interakcje pomiędzy wyselekcjonowanymi elementami składowymi spotykają się w części centralnej, którą stanowi nadrzędny komputer sterujący, pozwalający na pracę w systemie czasu rzeczywistego.



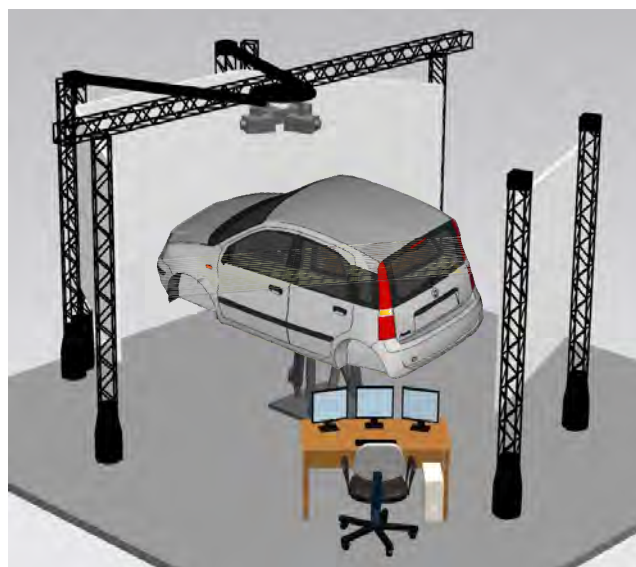
Rys. 1. Schemat struktury funkcjonalnej symulatora [2]
 Fig. 1. The functional structure's scheme of the simulator [2]

Funkcjonowanie wymienionych podsystemów będzie zintegrowane poprzez centralny komputer, który wyposażony będzie w oprogramowanie sterujące i zarządzające pracą obiektów składowych. Jednostka centralna będzie odpowiedzialna za obliczenia symulacji, generowanie obrazu, dźwięku, generowanie danych sterujących ruchem

układów wykonawczych platformy, funkcjonowaniem systemu bezpieczeństwa. Aby umożliwić wzajemną wymianę informacji jednostka centralna będzie ponadto węzłem typu master sieci przemysłowej, którą spięte będą pozostałe obiekty systemu. Ponieważ system sterowania oparty będzie wysoko wydajny komputer (najprawdopodobniej wieloprocesorowy klaster), zatem przyjęto, że najlepszym rozwiązaniem będzie przesył danych po przemysłowej sieci bazującej na Ethernetie. Na etapie projektowania przyjęto, że będzie to Ethernet POWERLINK [3].

3. Struktura funkcjonalna symulatora

Na rys. 2 przedstawiono opracowaną koncepcję symulatora. Stanowisko będzie zbudowane z 4 ekranów, na których wyświetlane będzie wirtualne środowisko symulatora (plac manewrowy, droga szybkiego ruchu, warunki ruchu miejskiego, wymagane wąskie miejsce do zaparkowania pojazdu etc.).



Rys. 2. Przyjęta koncepcja rozmieszczenia elementów składowych stanowiska
 Fig. 2. The idea of components' arrangement in the workplace of the project

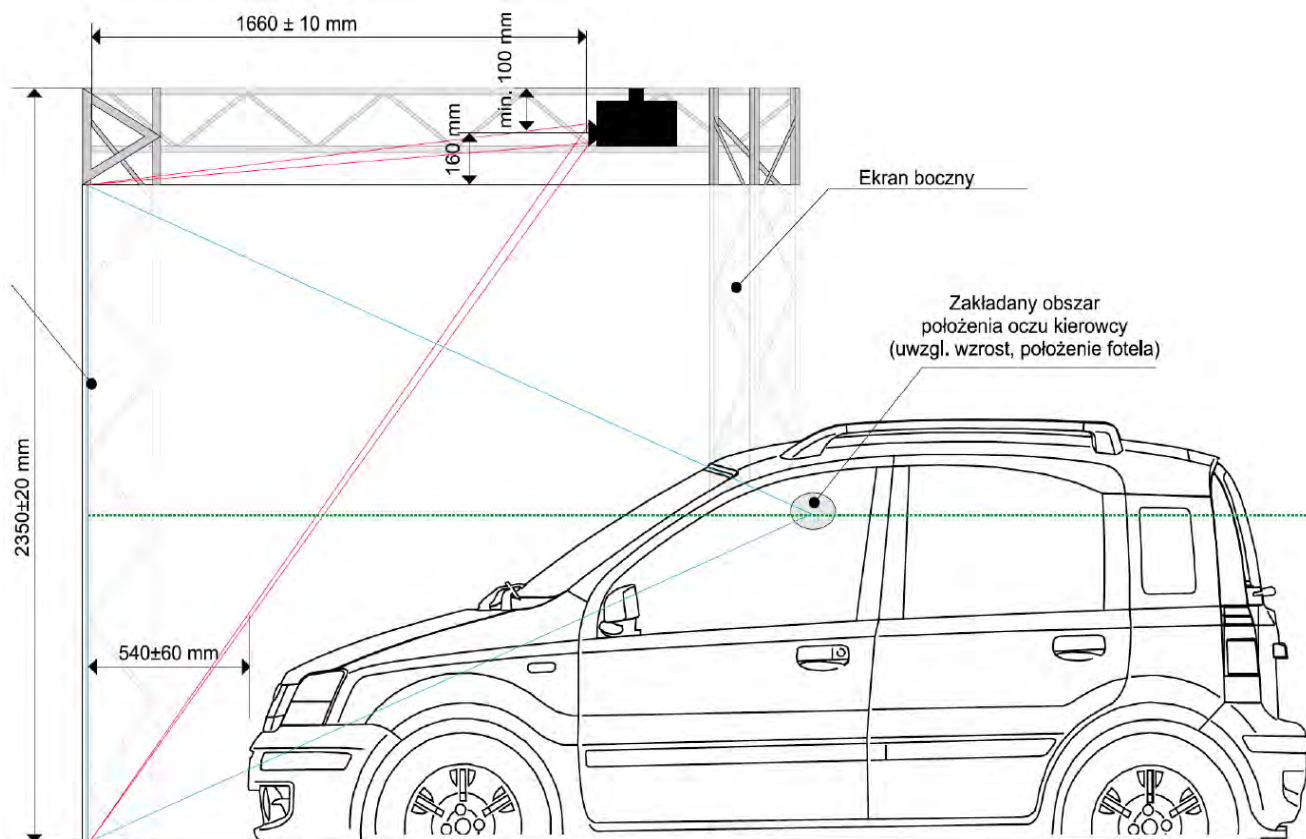
Na trzech przednich ekranach wyświetlany będzie widok z przodu i z boku, natomiast na ekranie z tyłu pojazdu będzie wyświetlany widok do patrzenia „przez ramię” wykorzystywany podczas manewru cofania, jak również przy wykorzystaniu fabrycznych lusterek bocznych i lusterka wstecznego – możliwy będzie do zasymulowania manewr zmiany pasa ruchu (np. podczas jazdy drogą szybkiego ruchu podczas wymijania pojazdów wolniejszych – manewr wymuszający synchronizację ruchów niepełnosprawnego kierowcy związanych z włączeniem migacza, redukcją biegu i zwiększeniem otwarcia przepustnicy).

Karoseria pojazdu będzie zamocowana na platformie Stewarta, która umożliwi realizację w pełni przestrzennego ruchu. Obok pojazdu umieszczony będzie podest umożliwiający osobom niepełnosprawnym wsiadanie do symula-

tora. Obok symulatora ustawione będzie stanowisko operatorskie, w którym operator nadzorujący pracę urządzenia będzie mógł śledzić przebieg ćwiczenia, aktywować odpowiednie pakiety testowe, wymuszać zdarzenia pogodowe i drogowe, monitorować zachowania i analizować reakcje kursanta.

4. Wymiary gabarytowe platformy Stewarta – wyznaczenie wartości

Jak już wspomniano wcześniej, do realizacji wymuszeń, które pozwolą na symulację odczuwanych podczas jazdy rzeczywistym samochodem przeciążeń zastosowana będzie platforma Stewart'a.



Rys. 3. Wysokości ekranów w odniesieniu do położenia środka skoku platformy w kierunku osi pionowej w widoku z boku

Fig. 3. The screen height in relation to the position of the center of platform's leap in Y-axis direction (side-view)

Jest to klasyczny układ mechaniczny posiadający 6 stopni swobody. Ruch względem kolejnych osi kartezjańskiego układu współrzędnych wymaga synchronizacji każdego z 6 napędów platformy, co ma zapewnić układ sterowania oparty na szybkim sterowniku przemysłowym firmy Bernecker&Rainer [3, 4, 7]. Aby jednak możliwe było przeprowadzenie procesu projektowo-konstrukcyjnego platformy nośnej konieczne było w pierwszej kolejności wyznaczenie wymiarów wysokościowych platformy. Wymiary te są ściśle związane z obszarem widoczności (wysokością ekranów czołowych) oraz pomieszczeniem, w którym symulator zostanie zbudowany. Na rys. 3 pokazano utworzony łańcuch wymiarów składowych, którego rozwiązanie pozwala na uzyskanie zbieżności pomiędzy wysokością wzroku kierowcy, a centralną częścią ekranów wizualizacji. Porównując istniejące rozwiązania przyjęto, że ekrany będą miały wysokość nie mniejszą niż 2200 mm. Ostatecznie przyjęto ekrany o wysokości 2350 mm, jako typowe rozwiązania dostępne na rynku. Aby przygotować położenia ekranów bocznych konieczne było ustalenie przesunięcia punktu centralnego względem osi pojazdu, co

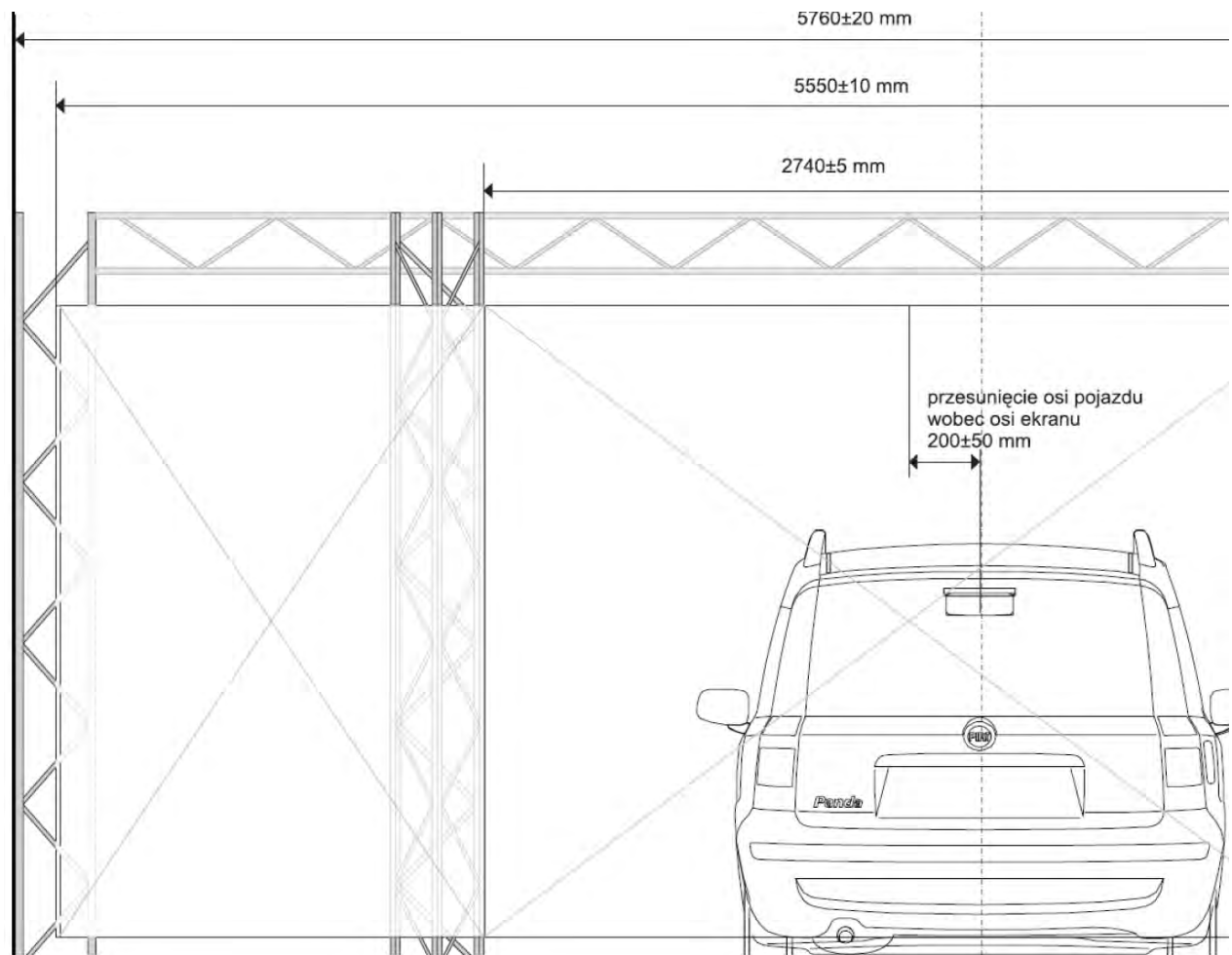
pokazano na rys. 4. Jest to wymóg konieczny, aby umożliwić kierowcy oglądanie panoramy drogi, niezbędnej do manewru wymijania.

Mając wyznaczone wymiary gabarytowe hali określono, że symulator wraz z systemem wirtualnej rzeczywistości musi zajmować powierzchnię 6000 x 8000 mm. Aby możliwe było jednak rozpoczęcie prac projektowych nad konstrukcją nośną i napędową samej platformy symulującej przeciążenia występujące podczas ruchu pojazdu w ruchu ulicznym konieczne było nałożenie uzyskanych wymiarów na wysokość pomieszczenia. Przyjęto, że ekrany będą usytuowane stycznie do powierzchni sufitu pomieszczenia. Ponieważ Wydział Mechaniczny Technologiczny dysponuje tylko jedną halą przystosowaną do posadowienia tego typu urządzeń (naprężenia wrywające system kotwienia wymagają posadzki przemysłowej z zabetonowanymi śrubami fundamentowymi wstępnie naprężanymi na etapie osadzania) przyjęto, że będzie to wysokość pomieszczenia hali zlokalizowanej przy ulicy Wrocławskiej. Wytypowane pomieszczenia posiadają wysokość użytkową równą 3300 mm (powyżej tej wysokości znajdują się dźwi-

gary nośne, które uniemożliwiają podniesienie na większą wysokość ekranów systemu VR). Rozwiązując zatem łańcuch wymiarowy uzyskano wysokość położenia neutralnego platformy jako 3300-2350 mm, czyli 950 mm. Wysokość ta nie jest minimalną wysokością platformy, gdyż musi umożliwiać realizację wymuszeń poniżej punktu środka skoku platformy. Zatem aby wyliczyć niezbędną do dalszego etapu procesu projektowania minimalną wysokość platformy konieczne było wyznaczenie pożądanego skoku platformy i odjęcie połowy tej wartości od wyznaczonego

położenia środkowego (950 mm). W tym celu konieczne było określenie w pierwszym etapie wymaganych przeciążeń, a następnie przy założeniu długości ich trwania określenia wymaganego skoku śrub napędowych.

Chcąc wyznaczyć potrzebne wielkości przyspieszeń na poszczególnych osiach platformy posłużono się eksperymentem, którego celem było dokonanie pomiarów przyspieszeń w rzeczywistych warunkach drogowych. Aby pomiary w możliwie dokładny sposób odzwierciedlały



Rys. 4. Określenie przesunięcia osi symulatora względem osi ekranów

Fig. 4. Defining the simulator's axis shift regarding to the screen axis

odczucia kierowcy konieczne było właściwe rozmieszczenie akcelerometrów. W tym celu wykorzystano przesunięcie osiowe punktu środkowego względem osi pojazdu, jak to pokazano na rysunku 4.

5. Eksperyment symulacyjny

Aby wyznaczyć niezbędne wartości przeciążeń (przyspieszeń) potrzebnych do wygenerowania odpowiednich (maksymalnie zbliżonych do rzeczywistych) odczuć kierowcy podczas symulacji posłużono się badaniami eksperymental-

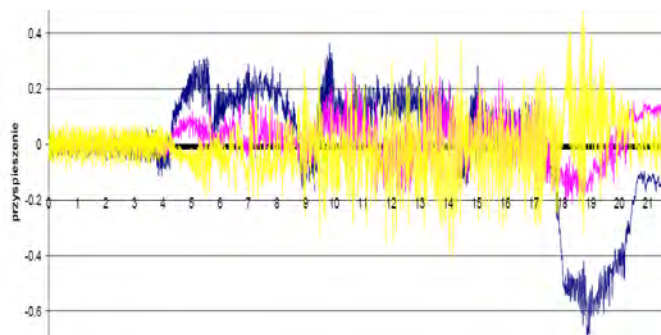
nymi z udziałem rzeczywistego pojazdu w ruchu ulicznym. W ramach badań eksperymentalnych, rzeczywistych odczuwalnych przyspieszeń w czasie jazdy samochodem, wykorzystano samochód osobowy Fiat Panda (którego nadwozie będzie częścią symulatora) oraz przyrządu do pomiarów przyspieszeń liniowych (akcelerometr USB X6-2 – firmy Gulf Coast Data Concepts [6]).

Badania przeprowadzono dla typowych zachowań kierowcy tj. przyspieszania, hamowania i kierowania (zmiana toru jazdy samochodu), jak i przy uwzględnieniu zmiennych warunków nawierzchni drogi [5]. W wyniku tak prze-

prorowadzonych badań otrzymano przyspieszenia liniowe pojazdu podczas jego ruchu, w następujących warunkach: przyspieszenia do prędkości 60 km/h, w końcowej fazie hamowania do zatrzymania samochodu, przyspieszenia do prędkości 90 km/h ze startu zatrzymanego, w trakcie jazdy przez ogranicznik prędkości na jezdni (tzw. „garbatego policjanta”, podczas przyspieszania do prędkości 130 km/h oraz hamowania od prędkości maksymalnej do 100 km/h, podczas jazdy po łuku z prędkością 50 km/h oraz podczas przyspieszania do prędkości 40 km/h na kostce brukowej. Przyjęto, że kolorystyki wykresów będą zgodne z przyjętym układem współrzędnych (rys. 5).

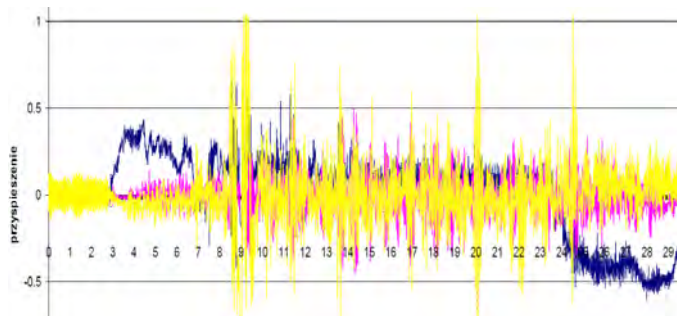


Rys. 5. Układ współrzędnych przy opisie ruchów pojazdu
Fig. 5. Car motion description by the usage of co-ordinate system



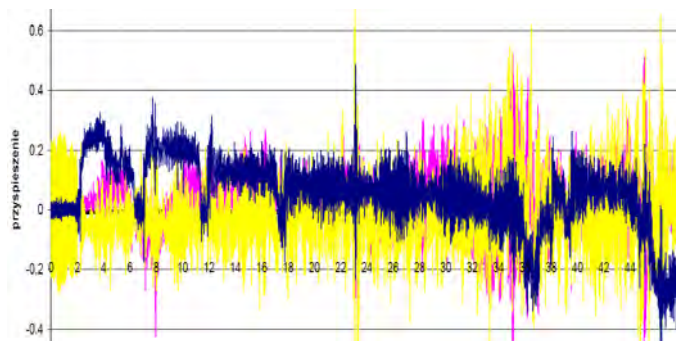
Rys. 6. Przyspieszenia liniowe w trakcie jazdy z prędkością do 60 km/h i przy hamowaniu awaryjnym z tej prędkości

Fig. 6. Linear acceleration during driving a car with speed up to 60 km per hour and with emergency braking from that speed



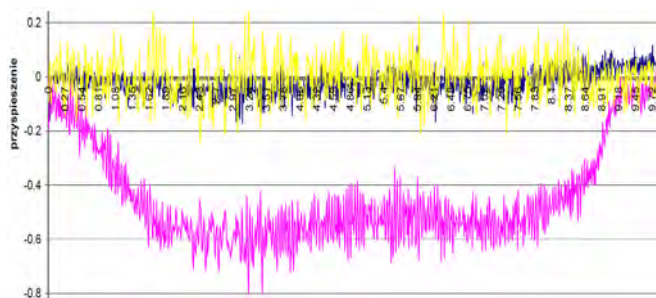
Rys. 7. Przyspieszenie liniowe w trakcie jazdy z prędkością do 90 km/h i podczas przejazdu przez garb

Fig. 7. Linear acceleration during driving a car with speed up to 90 km per hour and during passaging hump



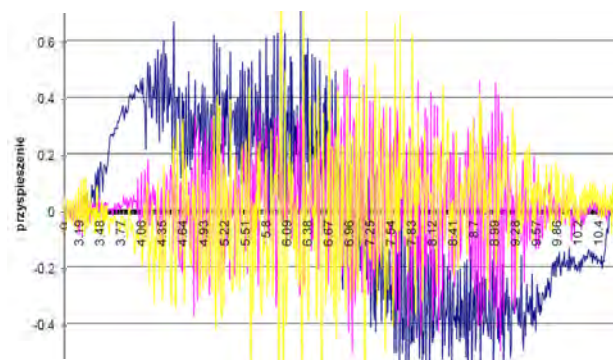
Rys. 8. Przyspieszenia liniowe w trakcie jazdy z prędkością 130 km/h i podczas późniejszego łagodnego hamowania do 100 km/h

Fig. 8. Linear acceleration during driving a car with speed up to 130 km per hour and afterwards slow braking up to 100 km/h



Rys. 9. Przyspieszenia liniowe w trakcie jazdy po łuku z prędkością 50 km/h

Fig. 9. Linear acceleration during driving a car on the turn with speed 50 km per hour



Rys. 10. Przyspieszenia liniowe w trakcie jazdy po bruku z prędkością do 40 km/h

Fig. 10. Linear acceleration during driving a car on the pavement with speed 40 km per hour

Na kolejnych rysunkach zestawiono uzyskane wyniki (wartości przyspieszeń) dla kolejnych, typowych zdarzeń drogowych. Oczywiście do wyznaczenia pożądaných wartości przyspieszeń konieczne było przefiltrowanie danych, gdyż na wartość zmierzonych wartości nałożyły się drgania wynikające między innymi z wibracji układu przeniesienia napędu badanego samochodu.

Przeprowadzone analizy otrzymanych rezultatów pozwalają określić wartości krytyczne przyspieszenia linowego wzdłuż głównych osi układu współrzędnych. Na wykresach można zauważyć zmiany amplitudy przyspieszenia zgodnego z kierunkiem jazdy (kolor granatowy) podczas rozpedzania oraz hamowania samochodu. Skoki wartości spowodowane są nagłym przyspieszeniem podczas zmiany biegów samochodu przyspieszającego do określonej prędkości. Przyspieszeniu temu towarzyszy przechył pojazdu względem osi poziomej prostopadłej do kierunku jazdy. Przyspieszenie odpowiadające za przechył pojazdu oznaczone zostało na wykresie kolorem żółtym. Siły wywołane przechylem powodują podnoszenie się pojazdu przy zadziałaniu dźwigni gazu oraz pochylanie się ku dołowi podczas hamowania. W obu opisywanych wyżej pomiarach przyspieszenia są zbliżone i oscylują wokół wartości 0,2 g w czasie przyspieszania oraz w 0,4 g podczas gwałtownego hamowania. Ponadto, amplituda przyspieszenia względem osi pionowej jest również znacząca podczas najechania samochodu na przeszkodę, a jej wartość jest zbliżona do 0,9 g (rys. 9). Kolejnym przyspieszeniem charakterystycznym w przypadku ruchu samochodu jest przyspieszenie względem osi poziomej prostopadłej do kierunku jazdy (kolor różowy). Przyspieszenie to wywołuje odchylenie ciała kierowcy lub pasażerów od osi pionowej. Ruch taki jest charakterystyczny podczas ruchu pojazdu po łuku, a jego wartość oscyluje wokół granicy 0,5 g. Mając określone czasy trwania przeciążeń i ich wartości krytyczne wyznaczono parametry platformy Stewarta (tabela 1).

Tab. 1. Wyznaczone parametry platformy Stewarta

Tab. 1. Determined Stewart's platform parameters

Współrzędne	Skok	Prędkość liniowa	Przyspieszenie liniowe
Przyspieszenie wzdłużne (X)	± 0,3m	± 0,5m/s	± 5,0m/s ² (0,5g)
Przyspieszenie poprzeczne (Y)	± 0,3m	± 0,5m/s	± 5,0m/s ² (0,5g)
Przyspieszenie pionowe (Z)	± 0,3m	± 0,5m/s	± 5,0m/s ² (0,5g)
Obrót X	± 25°		
Obrót Y	± 25°		
Obrót Z	± 25°		

Wyznaczone wartości posłużą w dalszej części prac do wyznaczenia sposobu mocowania nadwozia do platformy, a także do doboru mocy napędów platformy.

6. Podsumowanie i wnioski

Utworzony symulator będzie umożliwiał osobom niepełnosprawnym wirtualną jazdę pojazdem przystosowanym do ich dysfunkcji w warunkach dla nich bezstresowych i bezpiecznych zarówno dla samych kierujących, jak i innych uczestników ruchu drogowego. Dzięki odpowiedniemu połączeniu układu sterowania napędami platformy z nadrzędnym komputerem sterującym i synchronizującym wszystkie podległe węzły sieci przemysłowej symulator będzie także umożliwiał testowanie, dopasowanie i dostrojenie oprzyrządowania wspomagającego do indywidualnych potrzeb osób niepełnosprawnych. Obserwacja oraz analiza zachowania kursanta podczas jazdy symulatorem pozwoli wstępnie zweryfikować jego umiejętności i możliwości kierowania samochodem.

Przeprowadzone badania, umożliwiające otrzymanie wartości przyspieszeń wzdłuż głównych osi układu współrzędnych, można wykorzystać jako narzędzie wspomagania projektowania stanowiska do nauki jazdy samochodem osobowym także w innych przypadkach naukowych. Zastosowane w tym przypadku eksperymenty pozwoliły zdeteminować nie tylko wymagane skoki napędów, ale także pozwoliły wstępnie wyznaczyć wymagane moce napędów ustroju nośnego, co pozwoliło rozpocząć proces uszczegółowienia konstrukcji zarówno pod kątem mocowania nadwozia do platformy, jak również pod kątem szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych kolejnych węzłów (przegubów kulistych) platformy.

Praca finansowana w ramach projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) nr N R03 – 0005 -10 „Mechatroniczny integrator procedur sterowania pojazdem samochodowym dla osób niepełnosprawnych”.

6.1. Bibliografia

1. Kost G., Reclik D. i inni: *Experimental determination of perceptible acceleration exerted on the driver of a passenger car*, „Machine-Building and Technosphere of the XXI Century”, Materiały Konferencyjne. Sevastopol, 2011.
2. Kost G., Dymarek A. i inni: *Concept of a simulator for teaching how to drive a car for people with disabilities*, „Machine-Building and Technosphere of the XXI Century”, Materiały Konferencyjne. Sevastopol. 2011.
3. openPOWERLINK – Quick Start Guide, SYSTEC electronic GmbH, Greiz,
4. Katalog B&R, B&R PC Innovations, B&R 2002.
5. Mitschke M.: *Teoria Samochodu*, tom 1-3. WKŁ, Warszawa 1989.
6. <http://www.gcdataconcepts.com/x6-2.html>
7. B&R Automation Studio. Programming, B&R Industrie-Elektronik 2001. ■

Idea of simulator for driving course for handicapped people: system assumptions, specification of accelerations in street traffic by the usage of experimental methods

Abstract: The project of creating the specialized simulator for driving course for handicapped people have started at Silesian Technical University in 2010. The main goal of this project is to enable handicapped people to get used in save way to driving a car outside the street traffic. Driving this kind of car extremely differs from driving a typical car, because it needs to use additional gas and break lever. It is also so difficult to get used to it, because by the usage of the same hand, the driver must change runs, breaks and using the switch of windscreen wipers. The created car simulator is very similar to the real car for handicapped people just to teach them the correct behavior and habits during driving a car before they have started to drive in real street traffic. Moreover, there was necessary to prepare the project system of overloads, which can appear in the car during street traffic just for better getting used to the car. This solution provides to get into the correct habits, e.g. reducing the speed before the turn. There has been made an experiment by using the real car equipped with accelerating sensors located in a few places surrounding the drivers space to determine the suitable values of overloads, which are possible to generate by the carrying platform driving system of the simulator. The obtained results show that the overloads values are the base for further assumptions connected with motive power of the simulator carrying platform. This paper contains the detailed description of preparing the assumptions and idea of the simulator. Moreover, there is presented the

overall description of the work-place, the assumptions of the functional structure, and the way of determining the accelerating values connected with feelings simulation as one can find in a real car.

Keywords: Stewart platform, driving school for the handicapped people, virtual reality, integrated mechatronic control system

Dr hab. inż. Gabriel Kost, prof. Pol. Śl.

Ur. 17.02.1960 r., ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, gdzie w 1991 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych, a w 2005 roku uzyskał stopień naukowy doktora habilitowanego w specjalności Budowa i Eksploatacja Maszyn. W swojej działalności naukowej zajmuje się zagadnieniami komputerowego wspomaganie prac inżynierskich z zakresu integracji i programowania zrobotyzowanych, elastycznych systemów technologicznych. Obecnie pełni funkcję Kierownika Zakładu Automatykacji i Robotyzacji Procesów Technologicznych w Instytucie Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania. Prof. Gabriel Kost jest kierownikiem projektu nr N R03 – 0005 -10.
e-mail: gabriel.kost@polsl.pl

