

KULTURA BEZPIECZEŃSTWA  
NAUKA – PRAKTYKA – REFLEKSJE  
Nr 25, 2017 (106–134)  
ISSN 2299-4033 DOI 10.24356/KB/25/4

OCENA WŁASNOŚCI FUNKCJONALNYCH  
SYMULATORÓW POJAZDÓW ORAZ  
NOWOCZESNYCH SYSTEMÓW  
PROJEKCJI – BADANIA PORÓWNAWCZE

EVALUATION OF FUNCTIONAL  
PARAMETERS OF VEHICLE SIMULATORS  
AND MODERN PROJECTION SYSTEMS –  
COMPARISON STUDIES

GRZEGORZ GUDZBELER

Wydział Bezpieczeństwa Wewnętrznego Wyższej Szkoły Policji w Szczytnie

KUBA JAŁOSZYŃSKI

Wydział Bezpieczeństwa Wewnętrznego Wyższej Szkoły Policji w Szczytnie

**ABSTRACT**

Authors presented in the paper the method of evaluation of operational performance vehicle simulators. Number of simulation solutions are created in conjunction with the various requirements for the quality of simulation make the audience it is difficult to define requirements and the authors do not always reach desired effects due to budget constraints. The paper presents the idea for the evaluations of the functional parameters of vehicle simulators. Authors decided also to make an attempt to give the preliminary answer to a question which from studied projection systems causes lesser degree of symptoms of simulator sickness during train-

ing by conducting experimental comparison studies. Paper contains essential information both for creators and consumers of such solutions.

**Keywords:** projection systems, vehicle simulators, functional parameters, internal security

#### ABSTRAKT

Autorzy zaprezentowali w artykule metody ewaluacji wydajności użytkowej symulatorów pojazdów. Tworzonych jest wiele rozwiązań symulacyjnych, a w kontekście różnych wymagań dotyczących jakości symulacji, niezwykle trudno jest definiować wymagania i twórcy rozwiązań nie zawsze osiągają oczekiwane efekty w związku z ograniczeniami budżetowymi. Artykuł przedstawia metodę ewaluacji parametrów funkcjonalnych symulatorów pojazdów. Autorzy zdecydowali się również poprzez przeprowadzenie porównawczych badań eksperymentalnych, podjąć próbę odpowiedzi na pytanie, który z obecnie stosowanych systemów projekcji powoduje w mniejszym stopniu występowanie choroby symulatorowej podczas treningu. Artykuł zawiera przydatne informacje zarówno dla twórców jak i użytkowników symulatorów pojazdów.

**Słowa kluczowe:** systemy projekcji, symulatory pojazdów, parametry funkcjonalne, bezpieczeństwo wewnętrzne

Uczestniczenie w akcji związanej z ratowaniem życia, zdrowia ludzkiego lub mienia, wykonywanie zadań związanych bezpośrednio z zapewnieniem bezpieczeństwa osób zajmujących kierownicze stanowiska państwowe. To sytuacje, w których służby używają sygnałów pojazdu uprzywilejowanego<sup>1</sup>.

Ustawa *Prawo o ruchu drogowym*<sup>2</sup>, w art. 53.1., wprowadza pojęcie *pojazdu uprzywilejowanego*: „pojazdem uprzywilejowanym w ruchu drogowym może być pojazd samochodowy:

- 1) jednostek ochrony przeciwpożarowej;
- 2) zespołu ratownictwa medycznego;
- 3) Policji;
- 4) jednostki ratownictwa chemicznego;

<sup>1</sup> <http://www.policja.pl/pol/aktualnosci/138883,Uprawnienia-pojazdow-uprzywilejowanych.html> – dostęp: 12.02.2017 r.

<sup>2</sup> Ustawa z dnia 20.06.1997 r. *Prawo o ruchu drogowym*, Dz.U. 05.108.908 poz. 128 z 2017 r.

- 5) Straży Granicznej;
- 6) Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego;
- 7) Agencji Wywiadu;
- 7a) Centralnego Biura Antykorupcyjnego;
- 7b) Służby Kontrwywiadu Wojskowego;
- 7c) Służby Wywiadu Wojskowego;
- 8) Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej;
- 9) Służby Więziennej;
- 10) Biura Ochrony Rządu;
- 10c) straży gminnych (miejskich);
- 10d) podmiotów uprawnionych do wykonywania zadań z zakresu ratownictwa górskiego;
- 10e) Służby Parku Narodowego;
- 10f) podmiotów uprawnionych do wykonywania zadań z zakresu ratownictwa wodnego;
- 10g) Krajowej Administracji Skarbowej wykorzystywany przez Służbę Celno-Skarbową;
- 11) Inspekcji Transportu Drogowego;
- 12) jednostki nie wymienionej w pkt 1-11, jeżeli jest używany w związku z ratowaniem życia lub zdrowia ludzkiego – na podstawie zezwolenia ministra właściwego do spraw wewnętrznych<sup>3</sup>.

Ustawa w art. 53.2. określa uprawnienia kierującego pojazdem uprzywilejowanym. W artykule tym stwierdza się że: „Kierujący pojazdem uprzywilejowanym może, pod warunkiem zachowania szczególnej ostrożności, nie stosować się do przepisów o ruchu pojazdów, zatrzymaniu i postoju oraz do znaków i sygnałów drogowych tylko w razie, gdy:

- 1) uczestniczy:
  - a) w akcji związanej z ratowaniem życia, zdrowia ludzkiego lub mienia albo koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa lub porządku publicznego albo
  - b) w przejeździe kolumny pojazdów uprzywilejowanych,
  - c) w wykonywaniu zadań związanych bezpośrednio z zapewnieniem bezpieczeństwa osób zajmujących kierownicze stanowiska państwowe, którym na mocy odrębnych przepisów przysługuje ochrona;

---

<sup>3</sup> Ibidem.

- 2) pojazd wysyła jednocześnie sygnały świetlne i dźwiękowe; po zatrzymaniu pojazdu nie wymaga się używania sygnału dźwiękowego;
- 3) w pojeździe włączone są światła drogowe lub mijania.
3. Kierujący pojazdem uprzywilejowanym jest obowiązany stosować się do poleceń i sygnałów dawanych przez osoby kierujące ruchem lub upoważnione do jego kontroli.
4. Minister właściwy do spraw wewnętrznych, uwzględniając w szczególności konieczność zapewnienia porządku, sprawności i bezpieczeństwa ruchu drogowego, określi, w drodze rozporządzenia, okoliczności, w jakich używane są pojazdy uprzywilejowane w kolumnach<sup>4</sup>.

W praktyce oznacza to, że kierujący pojazdem uprzywilejowanym może, pod warunkiem zachowania szczególnej ostrożności, nie stosować się do przepisów o ruchu pojazdów, zatrzymaniu i postoju oraz do znaków i sygnałów. Kierującego takim pojazdem nie obowiązują m.in. ograniczenia prędkości, może wjechać „pod prąd”, wyprzedzać w miejscach gdzie obowiązuje taki zakaz, czy wjechać na skrzyżowanie na czerwonym świetle. Uczestnik ruchu i inna osoba znajdująca się na drodze są obowiązani ułatwić przejazd pojazdu uprzywilejowanego, w szczególności przez niezwłoczne usunięcie się z jego drogi, a w razie potrzeby zatrzymanie się. Obowiązek ułatwienia przejazdu dotyczy także pieszych znajdujących się na drodze. Oznacza to, że stojący w korku kierowcy powinni rozjechać się na boki, wjechać na pas zieleni lub zjechać na pobocze, a pojazdy znajdujące się w ruchu powinny zmienić pas, tak żeby jak najszybciej przepuścić pojazd uprzywilejowany. Piesi natomiast powinni powstrzymać się od przejścia na drugą stronę ulicy, nawet jeżeli mają zielone światło lub już znajdują się na przejściu<sup>5</sup>.

Kierujący pojazdem uprzywilejowanym, mając prawo do nieprzestrzegania w określonych ustawowo przypadkach do nieprzestrzegania przepisów, nie jest zwolniony od odpowiedzialności za spowodowanie kolizji czy też wypadku drogowego, który nastąpił w wyniku korzystania przez niego z tego uprawnienia. Sprawcą wypadku jest pojazd uprzywilejowany, który wjeżdża na skrzyżowanie na czerwonym świetle – to na kierowcy tego pojazdu ciąży odpowiedzialność za bezpieczeństwo. Samochody po-

<sup>4</sup> Ibidem.

<sup>5</sup> <http://www.policja.pl/pol/aktualnosci/138883,Uprawnienia-pojazdow-uprzywilejowanych.html> – dostęp: 12.02.2017 r.

ruszające się przez skrzyżowanie na zielonym świetle – nadal mają prawo do pierwszeństwa przejazdu<sup>6</sup>.

Tak więc osobą kierującą pojazdem uprzywilejowanym powinna być osoba o dużym doświadczeniu w kierowaniu pojazdami samochodowymi. Doświadczenia zawsze nabywamy wykonując dane czynności w pewnym okresie czasu. Im dłużej tym doświadczenie jest większe. Kierowanie pojazdem uprzywilejowanym zachowanie się w różnych sytuacjach na drodze podczas przejazdu na sygnale, również jest umiejętnością nabywaną poprzez doświadczenie.

Zawsze, w procesie szkolenia wykonywania czynności w środowisku, w którym mogą występować różnorodne zagrożenia, dążymy do tego aby w możliwie realistycznych warunkach (symulacjach) „oswoić” osobę szkoloną z możliwością ich wystąpienia, a nade wszystko wyrobić nawyki prawidłowego zachowania i reagowania na takie sytuacje. Ma to również pierwszorzędne znaczenie w procesie szkolenia kierowców pojazdów uprzywilejowanych. Narzędziem, w postaci: *Symulatora kierowania pojazdami uprzywilejowanymi podczas działań typowych i ekstremalnych*, którym dysponuje Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie<sup>7</sup>. Zaawansowana technologia, zastosowana w jego konstrukcji umożliwia:

- „-symulację zjawisk fizycznych związanych z ruchem pojazdu po nawierzchni drogi,
- symulację otaczającego pojazd środowiska wraz z innymi pojazdami, w tym takie ekstremalne sytuacje jak atak na pojazd,
- symulację jazdy z co najmniej 6-biegową ręczną lub automatyczną skrzynią biegów,
- symulację oporów występujących na kole kierownicy, pedale hamulca, pedale sprzęgła, dźwigni zmiany biegów,
- symulowanie ruchu drogowego, z charakterystyczną infrastrukturą drogową, pojazdami i pieszymi, w szczególności wymagane przepisami oznakowanie poziome, pionowe oraz sygnalizację świetlną i inne elementy kierowania ruchem (np. zapory, półzapory itp.)
- jednoczesne generowanie i zobrazowanie na ekranie co najmniej 25 uczestników ruchu drogowego znajdujących się w polu widzenia szkolonej osoby

---

<sup>6</sup> D. Foint, *Zderzenie z pojazdem uprzywilejowanym? Kto jest winny...*, [http://dariuszfoint.pl/zderzenie\\_z\\_uprzywilejowanym/](http://dariuszfoint.pl/zderzenie_z_uprzywilejowanym/)- dostęp: 17.03.2017 r.

<sup>7</sup> Projekt badawczy „Symulator kierowania pojazdami uprzywilejowanymi w sytuacjach typowych i ekstremalnych” Nr O ROB 0011 01/ID/11/1, realizowany w latach 2012 – 2013.

- (pieszych, rowerzystów, samochodów osobowych, autobusów, samochodów ciężarowych, motocykli, pojazdów uprzywilejowanych i tramwajów oraz pociągów na przejazdach kolejowych i w ich pobliżu),
- wizualizację zachowania się uczestników ruchu zarówno tych przestrzegających jak i nieprzestrzegających przepisów ruchu drogowego,
  - symulację różnych rodzajów dróg z wykorzystaniem elementów infrastruktury drogowej, w tym:
    - a. obszar zabudowany miejski charakteryzujący się drogą twardą ze skrzyżowaniem, w tym skrzyżowaniami o ruchu okrężnym i sygnalizacją świetlną a także budynkami jedno- i wielokondygnacyjnymi (w tym co najmniej czterokondygnacyjnymi) oraz obszar zabudowany wiejski charakteryzujący się drogą twardą i budynkami parterowymi lub dwukondygnacyjnymi,
    - b. obszar niezabudowany w tym: drogi gruntowe, drogi jedno- i dwujezdniowe, autostrady z co najmniej dwoma pasami ruchu przypadającymi na jedną jezdnię z barierami energochłonnymi (rozdzielającymi jezdnię i umieszczonymi na poboczu), drogi ekspresowe jedno- lub dwujezdniowe, posiadające wielopoziomowe skrzyżowania z przecinającymi je innymi drogami transportu lądowego i wodnego, z dopuszczeniem wyjątkowo skrzyżowań jednopoziomowych,
    - c. mosty, wiadukty i tunele,
  - odwzorowywanie zróżnicowanej rzeźby terenu, która powinna obejmować teren równinny, górzysty, w tym drogi o różnym stopniu nachylenia (długie podjazdy i zjazdy o dużym nachyleniu, częste podjazdy i zjazdy o zmiennym nachyleniu, serpentyny),
  - symulowanie warunków atmosferycznych i warunków jazdy, pory roku i doby, w tym w szczególności:
    - a. warunków atmosferycznych obejmujących: śnieg, deszcz, mgły i wiatr,
    - b. różnej pory roku (lato, zima),
    - c. różnej pory doby (dzień, noc, zmierzch, świt),
    - d. zróżnicowanych warunków jazdy obejmujących nawierzchnię o normalnej oraz zmniejszonej przyczepności,
  - odwzorowanie wybranych awarii i niesprawności poszczególnych układów, instalacji i systemów pojazdu, w tym w szczególności:
    - a. częściowego i całkowitego zaniku działania hamulców głównych,
    - b. asymetrii działania hamulców,
    - c. przebiccia ogumienia zwłaszcza kół kierowanych,

- d. zmiany położenia środka masy pojazdu, wynikającego z przemieszczenia się ładunku,
  - e. awarii silnika uniemożliwiającej wytwarzanie efektywnego momentu obrotowego,
  - f. komunikatów, ostrzeżeń i usterek tachografu,
- zmianę parametrów pojazdu, w tym w szczególności: położenia środka masy pojazdu, parametrów współpracy koła ogumionego z nawierzchnią drogi, mocy silnika, przełożeń w układzie napędowym, zmiany parametrów pojazdu wynikających z symulowanych awarii”<sup>8</sup>.

Ponadto symulator między innymi: „umożliwia automatyczną ocenę ćwiczeń wykonywanych przez osoby szkolone. Powinien także umożliwić automatyczne generowanie w systemie informatycznym raportu z wykonanego ćwiczenia, do którego instruktor będzie mógł wprowadzić swoje uwagi z zaznaczeniem, które elementy raportu zostały ocenione automatycznie, a które uzupełnił instruktor”<sup>9</sup>.

Nowoczesne technologie pozwalają na zastosowanie nowoczesnych metod wsparcia dla procesu dydaktycznego w postaci trenażerów wykorzystujących symulację komputerową. Szkolenie symulacyjne dedykowane zwłaszcza dla służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo stanowi bardzo istotny element procesu dydaktycznego. Systemy tego typu posiadają różny stopień kompleksowości. Poczynając od rozwiązań umożliwiających ćwiczenie obsługi wybranego elementu wyposażenia, poprzez systemy umożliwiające ćwiczenie podstawowych umiejętności takich jak wirtualne strzelnice, po kompleksowe systemy symulacyjne wykorzystujące architekturę symulacji rozproszonej, umożliwiające jednocześnie ćwiczenie wielu użytkownikom na różnych poziomach działania.

Zadaniem oprogramowania generującego środowisko wirtualne jest odwzorowanie realiów świata rzeczywistego w środowisku wirtualnym tak, aby ćwiczący poddany był bodźcom o wysokim stopniu realizmu. Co powoduje, że niektóre gry angażują bardziej niż inne? Według modelu Lazzaro decydują o tym cztery kluczowe elementy<sup>10</sup>. Każdy z nich

---

<sup>8</sup> Sprawozdanie z zadania nr 2, G. Gudzbeler, *Przeprowadzenie wstępnych badań porównawczych symulatorów wyposażonych w układy projekcji obrazu na ekranie cylindrycznym oraz „on screen”*, WSPol w Szczytnie, maszynopis (niepublikowany), s. 9 – 11.

<sup>9</sup> Ibidem, s. 12.

<sup>10</sup> N. Lazzaro, *The Four Keys to Fun: Designing Emotional Engagement and Viral Distribution without Spamming Your Friends*, ACM SIGCHI 2009 Proceedings, Palo Alto, USA.

definiuje inny aspekt zabawy: gry trudne, gry łatwe, gry z „ludźmi”, gry poważne (serious games). Gry oferujące „trudną rozgrywkę” to np. puzzle i strategie. Dla wielu osób zwycięstwo związane z pokonaniem znacznych przeszkód wywołuje pozytywne emocje.<sup>11</sup> „Łatwa rozgrywka” związana jest z grami umożliwiającymi twórcze poszukiwania i odgrywanie ról (cRPG). Łatwa rozgrywka bardzo często jest przyczyną znacznego zaangażowania graczy ponieważ odwołuje się do ciekawości, zaskoczenia i podziwu. Bardzo wiele gier jest atrakcyjnych ponieważ stymulują zachowania społeczne, kontakty interpersonalne lub przynajmniej tworzą iluzję takiej interakcji. Serious games to zabawa z celem. Niestety w przypadku notorycznego udziału w szkoleniu z wykorzystaniem jednego systemu symulacyjnego może prowadzić do zaniku wszystkich wskazanych elementów, które powodują zainteresowanie i zaangażowanie ćwiczącego. Funkcjonowanie w tego typu systemach permanentnie zdefiniowanych scenariuszy powoduje, że ćwiczący uczy się scenariusza na pamięć i każde kolejne ćwiczenie ma coraz mniejszą wartość edukacyjną. Ćwiczący przestaje reagować we właściwy sposób na docierające z systemu bodźce, wymuszające na nim odpowiednią reakcję. Oceny jakości przygotowania ćwiczącego do właściwej odpowiedzi na sytuacje rzeczywiste mogą być tym samym przekłamane. Scenariusz zwykle rozumiany jest jako całość zdarzeń wraz z ich rezultatami zdefiniowanymi w odpowiednich miejscach środowiska wirtualnego w odpowiedniej pozycji na osi czasu. Takie podejście do symulacji powoduje, że znamy jej przebieg w obszarze elementów sterowanych przez SI od jej rozpoczęcia po zakończenie. Przebieg ten przestaje być tajemnicą dla ćwiczącego już po pierwszej symulacji. W związku z tym wielokrotne powtarzanie ćwiczeń na symulatorach posiadających niewielką liczbę scenariuszy uniemożliwia osiągnięcie założonych celów szkoleniowych (staje się bezcelowe). Rozwiązaniem problemu jest traktowanie scenariusza jako ćwiczenia o przebiegu zależnym od zachowania ćwiczącego oraz jednostkowych zdarzeń dodawanych przed rozpoczęciem oraz już w trakcie realizacji ćwiczenia przez instruktora. Zdarzenia dodawane przez instruktora określane jako podgrywki powinny charakteryzować się niezależnością i kompletnością tak aby mogły zostać dodane w dowolnym czasie i wielokrotnie w realizowaniu ćwiczenia.

---

<sup>11</sup> P. Eckman, *Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life* (wydanie drugie), wyd. NY: Henry Holt and Company LLC., New York, USA 2007.



Kolejnymi elementami symulatora decydującymi o jego własnościach funkcjonalnych jest ruchoma platforma oraz układy wizualizacji otoczenia i generacji dźwięków. Ich konstrukcja i parametry powinny być tak dobre, aby osoba z niego korzystająca niezależnie od jego przeznaczenia (dla celów szkoleniowych lub badawczych) powinna w każdych warunkach jazdy mieć odczucia i reakcje zbliżone maksymalnie do tych, jakie miałyby w warunkach rzeczywistych przy wykonywaniu identycznych manewrów. Oczywiście powinny być porównywane reakcje tej samej osoby, ponieważ różne osoby w tych samych okolicznościach mogą mieć odmienne zachowania. W tym celu należy przeprowadzić tzw. badania walidacyjne, które polegałyby na pomiarze określonych wielkości związanych z ruchomą platformą, parametrami ruchu samochodu a także szeroko pojętymi reakcjami kierowcy (oddziaływanie na organy sterowania ruchem samochodu takie jak układ kierowniczy, pedały sprzęgła, hamulca i gazu, jego stan psychofizyczny, śledzenie wzroku itp.). Oczywiście ideałem byłoby, aby uzyskane odpowiadające sobie wartości dla obydwu systemów były jednakowe (walidacja absolutna). W praktyce jednak jest to niemożliwe do osiągnięcia. Dlatego też obecnie przeważa pogląd, że jakość symulatora będzie wystarczająca (walidacja względna), jeżeli kierunek zmian wielkości jest ten sam a jej wartość jest podobna lub identyczna w obydwu systemach wirtualnym i rzeczywistym. Autorzy niektórych prac<sup>12</sup> zwracają uwagę na fakt, że pomimo podobnych zachowań kierowców w symulatorze i na drodze, pewne cechy niedoskonałości obrazu w nim wyświetlanego mogą powodować, że nie wszystkie sygnały z otoczenia będą przez niego odbierane, a ponadto przy jego gorszej rozdzielczości zarówno nie będzie widać wielu szczegółów jak i panujące warunki oświetlenia będą inne niż w realnym świecie. Badania walidacyjne symulatorów powinny obejmować nie tylko porównanie takich wielkości jak prędkość czy trajektoria pojazdu, ale również aspekty ryzyka w tym zdolność do dostosowania się kierowcy do konkretnej zwłaszcza niebezpiecznej sytuacji na drodze<sup>13</sup>.

Istotnym czynnikiem wpływającym na reakcje osoby korzystającej z symulatora jazdy jest wzajemne sprzężenie pomiędzy człowiekiem a ma-

---

<sup>12</sup> G.J. Blaauw, *Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: a validation study*. Human Factors 24 (4), 1982, s. 473-486.

<sup>13</sup> X Yan, M Abdel-Aty, E Radwan, X. Wang, P. Chilakapati: *Validating a driving simulator using surrogate safety measures*. Accident Analysis and Prevention, vol. 40 (2008), s. 274-288.

szyną zwane w skrócie HMI (Human-Machine-Interfaces). Celem oceny HMI w symulatorze jest zbadanie zachowania się kierowcy w zależności od trzech niżej wymienionych elementów systemu<sup>14</sup>:

- parametrów charakteryzujących człowieka-kierowcę (wiek, doświadczenie, płeć, zmęczenie, wpływ zażycia alkoholu, narkotyków, stan psychofizyczny itp.),
- parametrów charakteryzujących pojazd (własności dynamiczne decydujące o jego reakcji na zmianę położenia organów sterujących, charakterystyka obciążeń organów sterujących itp.),
- parametrów charakteryzujących ruch uliczny, aktualną sytuację na drodze i zewnętrzne otoczenie (własności graficznego odwzorowania otoczenia samochodu zawierającego m.in. geometrię drogi, znaki, wszelkie oznaczenia na drodze, sterowanie światłami na skrzyżowaniach i przejściach dla pieszych, budynki i inne obiekty nieruchome oraz otaczający teren, poruszające się lub stojące różnego typu pojazdy, różne warunki atmosferyczne takie jak deszcz, śnieg, mgła, różne pory dnia takie jak świt, środek dnia, zmierzch, noc).

Symulator, którego własności eksploatacyjne podlegają ocenie powinien posiadać identyczne wyposażenie, jak rzeczywisty pojazd (fotele, deska rozdzielcza, pedały, kierownica, radio, CD, nawigacja, schowki), w tym także przyrządy wspomagające go podczas jazdy (ABS, ECS, TCS, 4WS, wspomaganie kierownicy, nawigacja) i ostrzegające kierowcę przed niebezpieczeństwem (czujniki parkowania, wskaźniki poziomów płynów, wskaźniki nieprawidłowego działania silnika). Aby w pełni ocenić wpływ konstrukcji symulatora na charakter sprzężeń pomiędzy człowiekiem a maszyną, które decydują później o jej przydatności w procesach szkoleniowych lub badawczych, do testów powinien zostać wykorzystany zaawansowany symulator o ruchomej podstawie DRI (Driving Simulator at Dynamic Research Inc.).

Aby móc porównać wartości parametrów uzyskanych podczas testów na symulatorze z testami w warunkach rzeczywistych, należy zastosować wiele przyrządów pomiarowych, które będą w stanie pomierzyć następujące wielkości:

---

<sup>14</sup> D. Weir, *Application of a driving simulator to the development of in-vehicle human-machine-interfaces*. IATSS Research (International Association of Traffic and Safety Sciences), vol. 34 (2010), s. 16-21.

- współrzędne położenia punktu centralnego pojazdu oraz parametry jego ruchu (prędkość, przyspieszenie, kierunek ruchu, prędkości i przyspieszenia kątowe),
- położenie i ruch innych symulowanych pojazdów znajdujących się w jego otoczeniu,
- położenia organów sterowanych przez kierowcę (kierownica, pedały hamulca, sprzęgła i gazu, przyciski) oraz ewentualnie siła lub moment do nich przyłożone,
- parametry psychofizyczne kierowcy (śledzenie położenia oka i kierunku spojrzenia, monitorowanie EKG i EEG, częstotliwość oddechu, pomiar pulsu, impedancja skóry, elektromiograf,
- przyspieszenia kierowcy wzdłuż trzech osi,
- obserwacja zachowania się kierowcy za pomocą kamery wraz z zapisem obrazu,
- archiwizacja sytuacji panującej na drodze,
- bieżący zapis obrazów wyświetlanych na ekranie.

Dane pomiarowe powinny być dostępne na bieżąco lub później po przeprowadzonych testach w celu ich analizy. Oprócz ww. wielkości istotnym elementem oceny może być również specjalnie sporządzona ankieta wypełniana przez kierowcę bezpośrednio po teście lub w jakiś czas po nim, która pozwoli m.in. na uzyskanie dodatkowej informacji, której nie jest w stanie dostarczyć system pomiarowy np. ewentualne stwierdzenie choroby symulatorowej. Ma ona bowiem istotne znaczenie przy ocenie własności eksploatacyjnych symulatora jazdy samochodem.

Z badań eksperymentalnych wynika, że do ćwiczenia prostszych niżżej wymienionych zadań i manewrów, dla których prędkość kąтова odchylenia nie przekracza  $8^\circ/s$  a przyspieszenia poprzeczne  $3,3 \text{ m/s}^2$ , w zupełności wystarczy znacznie tańszy symulator jazdy o nieruchomej podstawie. Do nich należą najczęściej wykonywane czynności podczas jazdy takie jak:

- jazda wzdłuż tego samego pasa drogi ze stałą prędkością,
- łagodne przyspieszanie i hamowanie,
- wykonywanie łagodnych zakrętów,
- zadania związane ze stopniową zmianą pasa i wykonywaniem czynności związanych z łagodnym obracaniem kołem kierownicy, przy założeniu, że zastosowano wysokiej jakości układ generowania oporów w systemie kierowniczym.

Zastosowanie symulatora z ruchomą podstawą jest na pewno zasadne w przypadku bardziej skomplikowanych zadań i manewrów, takich jak:

- gwałtowne skręty kierownicą lub manewry związane z gwałtownym przyspieszaniem lub hamowaniem, w których mamy do czynienia ze znacznymi przyspieszeniami,
- jazda w koło,
- gwałtowne manewry w warunkach miejskich zwłaszcza wykonywane przy niewielkich prędkościach,
- wszelkie manewry związane z częstymi zmianami kierunku jazdy,
- jazda po nierównościach, drogach nieutwardzonych, wybojach itp.,
- manewry w sytuacjach nadzwyczajnych, podczas unikania kolizji, pościgach itp.

Ocena systemu HMI (sprzężenia między człowiekiem operatorem a maszyną czyli symulatorem) składa się z dwóch etapów. W pierwszym z nich wyznacza się określone typowe zadania, które ma wykonać kierowca, takie jak:

- nawigowanie wzdłuż wyznaczonej trasy (wyświetlona droga wraz z ewentualnymi dodatkowymi instrukcjami),
- jazda wzdłuż drogi generowanej na ekranie przez komputer graficzny,
- utrzymywanie stałej prędkości (przyspieszanie i hamowanie),
- reagowanie na określoną sytuację na drodze,
- wykrycie i ominięcie przeszkody na drodze,
- inne poza wymienionymi zgodne za założonym scenariuszem.

Dodatkowo do systemu mogą być wprowadzone zakłócenia polegające na przykład na oddziaływaniu zmiennych bocznych sił związanych z podmuchami wiatru.

Podczas pierwszego etapu składającego się z wymienionych wyżej zadań są zazwyczaj rejestrowane następujące parametry związane z ruchem samochodu i czynnościami kierowcy:

- aktualne położenie organów kontroli (kierownica, pedał hamulca, pedał gazu), za pomocą których kierowca steruje ruchem samochodem,
- przyspieszenia wzdłużne i boczne,
- prędkość kątowna obrotu samochodu i jego kierunek,
- prędkość poruszania się,
- aktualne położenie w przyjętym nieruchomym układzie współrzędnych.

W drugim etapie następuje ocena jakości sprzężenia człowieka z maszyną, do czego niezbędny jest pomiar jego aktywności podczas wykonywanego zadania. Stosowane są zatem urządzenia, które umożliwiają pomiar szybkości jego reakcji i odchyień od założonych wzorców, podgląd zachowania się kierowcy i obserwacji jego reakcji (kamera w kabinie), czasu wykonania zadania itp.

Liczba uczestników eksperymentu nie jest łatwa do ustalenia i zależy od wielu okoliczności a przede wszystkim od celu oceny systemu. Generalnie im więcej jest uczestników, tym badania są dokładniejsze, ale z drugiej strony czas i ograniczony budżet limitują ich ilość. We wstępnych testach zasadne wydaje się zaangażowanie jednorodnej grupy uczestników o podobnym wieku i doświadczeniu w ilości od 16-20 zgodnie z normą ISO 26022 „Lane Change Test”, gdzie zalecają przeprowadzenie testów na co najmniej 16 osobach. Z kolei w innych normach ISO 16673 ilość ta wynosi 10. Biorąc to pod uwagę wydaje się, że przebadanie 16 uczestników jest wystarczające do prawidłowej oceny HMI, przy czym akceptowalnym minimum jest 10 osób. Biorąc pod uwagę fakt, że zwykle około 8-10% osób cierpi na chorobę symulatorową, należałoby mieć na początek około 20 osób. Obiektywne wskaźniki oceny mogą być zaimplementowane albo w głównym komputerze bądź też w dodatkowym module podłączanym za pośrednictwem interfejsu do symulatora na czas testu.

Obecnie zostanie omówionych kilka przykładowych walidacji symulatora jazdy mających na celu określenie ich przydatności m.in. w procesie szkolenia kierowców. W pierwszych z nich przeprowadzonych na Uniwersytecie w Leeds<sup>15</sup> wykorzystano statyczny symulator, na którym przebadano 100 kierowców: 50 mężczyzn i 50 kobiet w różnych grupach wiekowych. Większość z badanych nie przekroczyła trzydziestki i posiadała prawo jazdy nie dłużej niż 5 lat. Pochodzili głównie ze środowiska uniwersyteckiego, nie mieli w większości doświadczenia w „prowadzeniu” samochodu w środowisku wirtualnym i nie byli zaawansowani w grach komputerowych. Badania w warunkach rzeczywistych przeprowadzono na sześciokilometrowym fragmencie drogi dwupasmowej znajdującej się poza miastem składającej się z odcinków prostych i kilku zakrętów. Na drodze panowało średnie i niskie natężenie ruchu (średnio 6800 po-

---

<sup>15</sup> E. Blana, J. Golias, *Behavioural validation of fixed-base driving simulator*, Proceedings of Driving Simulation Conference (DSC'99), Paris, France, September 7-8, 1999, s. 227-240.

jazdów na dobę), przy czym około 20% stanowiły samochody ciężarowe a 80% osobowe i dostawcze. W środowisku wirtualnym starano się odtworzyć maksymalnie wiernie warunki rzeczywiste. Analizowano średnie prędkości samochodu w 21 punktach pomiarowych sześciokilometrowego odcinka zarówno podczas jazdy w terenie jak i w symulatorze, a następnie porównano ich wartości ze sobą wyróżniając przypadki jazdy na odcinkach prostoliniowych i na łukach drogi przy braku innych pojazdów na drodze oraz w ich obecności. Okazało się, że na odcinkach prostych kierowcy w symulatorze jeździli szybciej średnio o około 9 km/h z ruchem drogowym i o około 11 km/h bez ruchu drogowego, natomiast na łukach jeździli wolniej średnio o około niecałe 5 km/h, przy czym wpływ ruchu drogowego był w tym przypadku niewielki. Ponieważ wartość średnia prędkości wynosiła około 65 km/h, to różnice prędkości mieściły się w przedziale 6-19%, zaś odchylenia standardowe stanowiły 2-5% wartości średniej. Innym przykładem oceny walidacyjnej zaawansowanego symulatora jazdy były badania omówione w pracy<sup>16</sup> polegające na porównaniu zmian średniej prędkości podczas trzech różnych manewrów: hamowania przed skrzyżowaniem ze znakiem „stop” oraz zakrętu w prawo i w lewo o kącie 150° podczas jazdy w symulatorze i w odpowiednio oprzyrządowanym samochodzie. Porównywano również manewry na jezdni bez pasów (tzw. control site) oraz z „wypukłymi” poprzecznymi pomalowanymi na czerwono pasami o szerokości 60 cm i wysokości 1 cm (tzw. treatment site). Przejazd przez pasy poprzedzające skrzyżowanie lub zakręt o około 30-50 m (treatment area) był wyraźnie odczuwany przez kierowcę i pełnił rolę sygnału sprzężenia zwrotnego. Odstęp między pasami był stopniowo zmniejszany w miarę zbliżania się do skrzyżowania lub zakrętu. Wszystkie manewry były wykonywane na dwupasmowej drodze podmiejskiej niedaleko Melbourne oraz na symulatorze jazdy zainstalowanym w Monash University Accident Research Centre (MUARC). Posiadał on w pełni wyposażoną kabinę samochodu Ford Falcon. Prezentowany obraz miał rozdzielczość 640x480 pikseli i był wyświetlany z częstotliwością 30 Hz. Zasięg widzialności z przodu wynosił 180° (trzy ekrany i projektory), z tyłu 60° (cztery ekrany i projektor) a w pionie 45°. Symulator posiadał też generator dźwięku przestrzennego do symulowania różnych odgłosów pochodzących od silnika i z zewnątrz samochodu. Podstawa symulatora była

<sup>16</sup> S. Godley, T. J. Triggs, B. N Fildes, *Driving simulator validation for speed research*, Accident Analysis and Prevention, vol. 34 (2002), s. 589-600.

zamontowana na ruchomej platformie posiadającej możliwość pochylenia i przechylenia w celu symulowania przyspieszania, hamowania, brania zakrętów i wyprzedzania. W badaniach uczestniczyło 24 kierowców, 12 mężczyzn i 12 kobiet w wieku od 22 do 52 lat (przeciętna 29,8 lat). Wszyscy uczestnicy mieli ukończone studia i każdy posiadał prawo jazdy i co najmniej 3 letnie doświadczenie w prowadzeniu samochodu. Nikt wcześniej nie jeździł ani w oprzyrządowanym samochodzie, ani w symulatorze lotu. Przed przystąpieniem do właściwych badań uczestnicy zostali zapoznani z instrukcją oraz odbyli jazdę próbną trwającą około 11 min. Jazdy eksperymentalne trwały od 40 do 50 min w zależności od kierowcy i okoliczności. Do eksperymentów użyto odpowiednio wyposażonego samochodu Holden Apollo z silnikiem o pojemności 2 l. Prędkość była mierzona przy pomocy prędkościomierza, do którego podłączony był przyrząd rejestrujący. Wartości prędkości w obydwu przypadkach były zapisywane z częstotliwością 30 Hz, a następnie przeliczane na średnią prędkość na 1 m przejechanej drogi. Pomiar rozpoczynał się zawsze w tej samej odległości od pasów odpowiadającej mniej więcej tej samej długości, na której rozmieszczone zostały pasy.

Prowadzone badania miały na celu *walidację absolutną* oraz *walidację względną*, w której zastosowano dwie różne procedury *przeciętną walidację względną* oraz *interaktywną walidację względną*, polegającą na badaniu reakcji dynamicznych kierowcy na założone takie same warunki na drodze wymuszające na nich pewne zachowania. W tym przypadku obserwowano szybkość reakcji kierowcy na obecność opisanych wyżej pasów na drodze. Walidacja absolutna i względna była przeprowadzona niezależnie dla każdego z trzech badanych przypadków. W przypadku pierwszej procedury (*przeciętna walidacja względna*) dla każdego badania typu treatment (z pasami) i control (bez pasów) w strefie pomiaru była wyznaczana średnia wartość prędkości dla każdego uczestnika. Rozbieżność pomiędzy uzyskanymi wartościami wskazywała na wpływ pasów poprzecznych na reakcję kierowcy. Względna walidacja była uznawana za spełnioną, jeżeli różnice były podobne i miały ten sam kierunek zmian w warunkach rzeczywistych i wirtualnych. Uzyskane wyniki były również przetwarzane przy pomocy narzędzi statystycznych (ANOVA). Zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji mającą na celu porównanie zarówno dwóch badanych przypadków (bez i z pasami) oraz dwóch eksperymentów (na drodze i w symulatorze). Druga procedura (*interaktywna walidacja względna*)

polegała na uzyskaniu profilu prędkości (średnia wartość na długości 1 m) mierzonej wzdłuż strefy pomiarowej zarówno dla przypadku jazdy bez pasów na drodze (control) jak i z pasami (treatment). *Interaktywna walidacja względna* była uznana za zweryfikowaną, kiedy odpowiednie wzorce profili prędkości otrzymanych w warunkach rzeczywistych i wirtualnych były podobne. W celu statystycznej oceny tego podobieństwa zastosowano metody statystyczne korzystające z modyfikowanej analizy bazującej na korelacji kanonicznej. W pracy "Driving simulator validation for speed research" zamieszczono profile prędkości otrzymane w każdym z trzech badanych przypadków (skrzyżowanie ze znakiem stop, zakręt w lewo, zakręt w prawo) podczas rzeczywistej jazdy i podczas jazdy w symulatorze. Na każdym wykresie pokazano zarówno profil przeciętnych prędkości, które zarejestrowano podczas jazdy na drodze bez pasów (control) i z pasami (treatment). Na ich podstawie sformułowano następujące wnioski:

- badania zarówno w warunkach rzeczywistych jak i wirtualnych pokazały, że we wszystkich badanych przypadkach redukcja prędkości ma miejsce jeszcze przed pasami,
- wprowadzenie pasów przed skrzyżowaniem ze znakiem „stop”, powoduje wyraźne zmniejszenie średniej prędkości dojazdowej zarówno w przypadku badań na drodze jak i w symulatorze,
- różnice pomiędzy średnimi prędkościami otrzymanymi w przypadku drogi z pasami i bez pasów dla manewru związanego z zakrętem są większe w przypadku symulatora niż jazdy w warunkach rzeczywistych. Może to wynikać z dwóch przyczyn: po pierwsze prędkość początkowa podczas jazdy samochodem po drodze z pasami była większa niż po drodze bez pasów, natomiast po drugie hamowanie a co za tym idzie redukcja prędkości przed pierwszym pasem następuje w symulatorze szybciej niż na drodze rzeczywistej. Może to też wynikać zarówno z własności samego symulatora jak i zastosowanych procedur eksperymentalnych. Z powodu braku sygnału pochodzącego od sił bezwładności związanych z ruchem, kierowca może w mniejszym stopniu być świadomym zmian prędkości, co wiąże się z „gorszym” czuciem samochodu podczas hamowania,
- generalna prawidłowość wynikająca z przeprowadzonych badań jest taka, że prędkości uzyskiwane podczas jazdy w symulatorze są w większości przypadków mniejsze niż prędkości uzyskiwane w tych samych warunkach i podczas tych samych manewrów, ale podczas jazdy w warunkach rzeczywistych.



Omówione badania wykazały, że analiza porównawcza profili średnich prędkości uzyskiwanych podczas tych samych warunków i manewrów w świecie rzeczywistym i wirtualnym (symulator jazdy) stanowi właściwe kryterium walidacji zarówno absolutnej jak i względnej symulatorów jazdy. Podobne badania przeprowadzone na dwupasmowej drodze poza miastem omówiono w pracy F. Bella, "Driving simulator for speed research on two-lane rural roads".

Podobną ocenę własności eksploatacyjnych symulatora poprzez porównanie reakcji i zachowania się kierowców podczas jazdy rzeczywistej, podczas oglądania krótkich filmów pokazujących pojazdy poruszające się w ruchu ulicznym i podczas jazdy w pełni wyposażonym stacjonarnym symulatorze o kącie widzenia 90, do której wykorzystano analizę ryzyka prezentuje praca G. Underwood, D. Crundall, P. Chapman, "Driving simulator validation with hazard perception". Autorzy uważają, że walidacja symulatorów polegająca tylko na porównaniu prędkości i stopnia trzymania się pasa drogi ogranicza się tylko do niższego poziomu sterowania samochodem uwzględniającego głównie percepcyjno-motoryczne cechy związane z prowadzeniem samochodu i stanowi warunek konieczny ale nie wystarczający do tego, aby w pełni ocenić własności eksploatacyjne symulatora. Autorzy proponują wprowadzenie oceny wyższego poziomu sterowania samochodem związanego z aspektami poznawczymi. Podobnie jak w przypadku porównywania wcześniej wspomnianych wielkości również istotne wydaje się porównanie świadomości kierowcy poprzez obserwowanie jego zmian w zachowaniu podczas specyficznych sytuacji panujących podczas jazdy związanych ze wzmożoną obserwacją otoczenia. Jeżeli doświadczony kierowca wyczuwa niebezpieczeństwo na drodze, wówczas następuje zmiana w jego sposobie śledzenia tego, co się dzieje aktualnie na drodze. Wykazali to w swych pracach Crundall i Underwood. W omawianej pracy wykazano, że bardziej doświadczeni kierowcy obserwują sytuację na drodze w szerszym zakresie i cechują się krótszymi przedziałami czasu, w których ich wzrok jest nieruchomy. Walidacja symulatora, którą zastosowano w pracy polegała na obserwacji wzorców zachowań zarówno doświadczonych jak i początkujących kierowców. Ze względu na bardzo dużą różnorodność sytuacji niebezpiecznych i ich wariantów, które mogą mieć miejsce na drodze, istotny jest ich odpowiedni dobór. Dla każdej z nich można zdefiniować wiele zmiennych, które będą służyły do oceny ryzyka. Spośród nich należy wybrać te elementy, które mają naj-

większe znaczenie w procesie zarówno oceny wyszkolenia kierowców jak i oceny samego symulatora. Bardziej szczegółowy opis badań można znaleźć w pracy G. Underwood, D. Crundall, P. Chapman, „Driving simulator validation with hazard perception”.

Kolejnym istotnym aspektem symulatorów pojazdów są systemy projekcji. Bardzo istotnym aspektem w systemach treningowych staje się możliwość zastosowania innowacyjnych rozwiązań z uwzględnieniem negatywnych czynników, które mogą determinować ilość możliwych do przeszkolenia osób. Wpływ na przydatność szkolenia symulacyjnego ma choroba symulatorowa, a właściwie jej syndromy uniemożliwiający udział w ćwiczeniach znaczącej ilości szkolonych.

Choroba symulatorowa jest stanem charakteryzującym się szeregiem objawów w warunkach ekstremalnych: nudnościami, wymiotami, bledością i wzmożonym poceniem. Występują one u człowieka w warunkach ekspozycji na wzrokowe wirtualne lub rzeczywiste bodźce ruchowe, skojarzone lub nie z bodźcami kinetycznymi, które nie są dla niego bodźcami fizjologicznymi i do których nie jest zaadaptowany. Definicja ta jest szerokim pojęciem obejmującym: choroby z grupy kinetoz – symulatorową, lokomocyjną, poruszeniową, powietrzną, morską, samochodową, kosmiczną itp.

Ujemny wpływ środowiska wirtualnego symulatora na człowieka jest zjawiskiem niepożądanym. Po raz pierwszy zjawisko to było badane przez Millera i Goodsona (1958, 1960), którzy objawy występujące w następstwie treningu w symulatorze nazwali chorobą lokomocyjną, ze względu na podobieństwo większości objawów tej choroby do kinetoz. Ponieważ pod względem czynników oddziaływujących na organizm możemy symulatory podzielić na symulatory, w których stosowane są wyłącznie bodźce kinetyczne (próba Coriolisa), w innych kinetyczne i wzrokowe (symulatory zastosowaniem bodźców wzrokowych na ruchomych platformach) a jeszcze w innych wyłącznie wzrokowe (symulatory stacjonarne z wykorzystaniem stymulacji wzrokowej) nazwanie choroby symulatorowej tą nazwą jest bardziej związane z urządzeniem, na którym dochodzi do rozwinięcia się objawów chorobowych niż do samego zjawiska. Dlatego w przypadku ujemnego wpływu środowiska wirtualnego symulatora, bez względu na charakter bodźców, stosuje się najczęściej w stosunku do zespołu objawów występujących w wyniku treningu na symulatorze nazwy – choroba symulatorowa.

Choroba symulatorowa charakteryzuje się bogatą i zróżnicowaną symptomatologią w zależności od stopnia jej zaawansowania. Rozpoczyna się zwykle dyskretnymi zawrotami głowy o typie oszołomienia z towarzyszącym ślinotokiem, zblednięciem, uciskiem w górnej części jamy brzusznej i nasilającą się potliwością. Pojawiają się narastające nudności, którym często towarzyszą objawy nadwrażliwości na przykre odczucia smakowe i węchowe, brak apetytu, ból głowy, niepokój, wzmagająca się ataksja i dezorientacja przestrzenna. Ze względu na intensywne śledzenie wirtualnego obrazu podczas całego badania często występuje odczucie zmęczenia narządu wzroku oraz zaburzenie widzenia o charakterze nieostrości obrazu. W ekstremalnych przypadkach rozwoju choroby może dojść do gwałtownych wymiotów z towarzyszącym znużeniem, apatią, i sennością oraz ograniczeniem zdolności do koncentracji psychicznej i aktywności mięśniowej. Różna konfiguracja objawów u poszczególnych chorych zależy od osobniczej wrażliwości na działający bodziec, charakter bodźca, jego poziom i czas działania.

Obecnie brak jest jednoznacznego rozstrzygnięcia przyczyn powstawania i sposobów zapobiegania chorobie symulatorowej.

W symulatorach obiektów ruchomych występują trzy główne metody wizualizacji: nahełmowy, na oknach kabiny pojazdu oraz na ekranie zewnętrznym. W opracowaniu przedstawiono wyniki badań porównawczych zrealizowanych w ramach projektu „Symulator kierowania pojazdami uprzywilejowanymi w sytuacjach typowych i ekstremalnych” realizowanego w konsorcjum przez Wyższą Szkołę Policji w Szczytnie, Polska. Badania dotyczyły standardowego i powszechnie stosowanego systemu projekcji na ekranie walcowym oraz coraz bardziej popularnego systemu projekcji „on screen”.

W badaniach zastosowano dwie platformy:

Na potrzeby badań przygotowano dwie platformy testowe. Jedną wyposażoną w ekran z systemem projekcji walcowej, druga w system projekcji „on screen”.

Symulator z ekranem walcowym.

– Kabina – autobusu międzymiastowego Autosan A1012T Lider

– Ekran:

a. Walcowy: o promieniu  $R = 4,1$  m i wysokości  $h = 3,75$  m

b. Kąty widzenia z punktu widzenia kierowcy: szerokość kątowna:  $vfov = 180 \text{ deg}$ , wysokość kątowna  $hfov = 50 \text{ deg}$

– Układ projekcyjny:

a. 4 projektory Projectiondesign F22 SX+,

b. rozdzielczość 1400 x 1050 (standard SXGA+)

– Jasność – 2100 ANSI Lumen

– Współczynnik kontrastu: 2500:1.

– Typ matrycy: DLP

Tak wykonany układ projekcyjny zapewnił rozdzielczość kątowną na wprost wzroku kierowcy – 2,9 minuty kątownej/piksel

Ryciny: 1 – 2 przedstawiają symulator wraz z układem projekcyjnym



Ryc. 1. Symulator z ekranem walcowym – widok kabiny i ekranu z wyświetlanym obrazem z zewnątrz i z wnętrza kabiny (źródło: autor zdjęć G. Gudzbeler)



Ryc. 2. Symulator z ekranem walcowym – widoczna kabina, cylindryczny ekran i układ projekcyjny (źródło: autor zdjęć G. Gudzbeler)

Symulator z systemem projekcji „on screen”.

– Kabina – samochodu ciężarowego Mercedes Actros

– Ekran:

a. „on screen” – naklejona folia projekcyjna na wszystkie szyby czołowe i boczne kabiny umożliwiającą wyświetlanie obrazu w systemie tylnej projekcji; szyby tylne zostały całkowicie zaciemnione

– Układ projekcyjny:

a. 3 projektory krótkoogniskowe Mitsubishi WD380U-EST obsługujących szybę czołową i lewą boczną

b. Jasność: 2800 ANSI lumen

c. Rozdzielczość: 1280 x 800 (standard WXGA)

d. Kontrast: 3000:1

e. Typ matrycy: DLP

– 1 projektor Panasonic PT-LB1E wyświetlający obraz na prawej bocznej szybie.

– Jasność: 2200 ANSI lumen

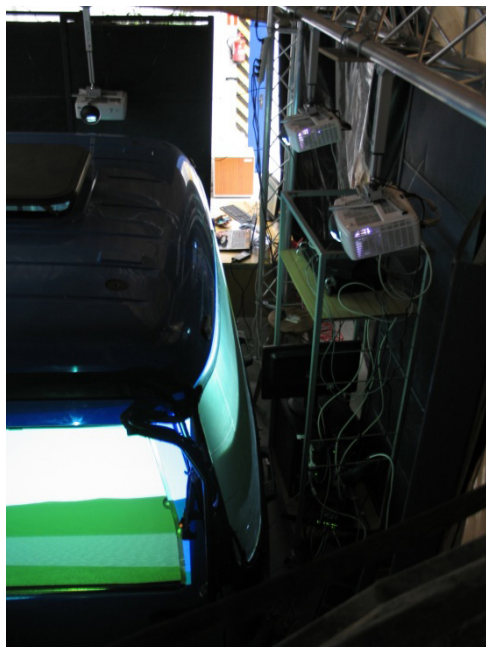
– Współczynnik kontrastu: 500:1

– Rozdzielczość: 1024 x 768 (standard XGA)

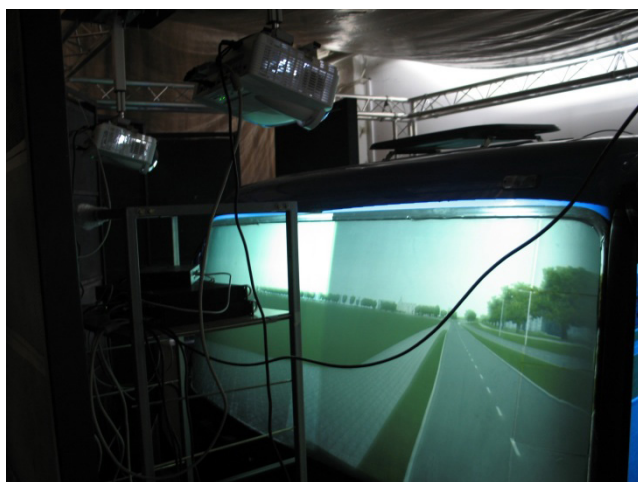
– Typ matrycy: LCD

Tak wykonany układ projekcyjny zapewnił rozdzielczość kątową na wprost wzroku kierowcy – 2,1 minuty kątowej/piksel

Ryciny 3 – 4 przedstawiają stanowisko badawcze symulatora z tylną projekcją na ekranach „on screen”



Ryc. 3. Stanowisko badawcze symulatora z ekranami „on screen” – widoczna kabina z ekranami „on screen” i projektory obsługujące szybę czołową i lewą boczną (źródło: autor zdjęć G. Gudzbeler)



Ryc. 4. Stanowisko badawcze symulatora z ekranami „on screen” – widoczna kabina z ekranami „on screen” na szybie czołowej i projektory obsługujące szybę czołową (źródło: autor zdjęć G. Gudzbeler)

Badania wykonano na 15 osobach, które uprzednio nie ćwiczyły na symulatorach.

Przeprowadzone u tych osób badanie wstępne nie stwierdziło u nich chorób narządu wzroku. Badania na symulatorach z obrazowaniem na ekranach „on screen” oraz cylindrycznym wykonano w odstępie 10-dniowym.

Wyniki badań prowadzonych na symulatorze z obrazowaniem na ekranie cylindrycznym.

Badanie realizowane przed treningiem składało się z:

– Wywiad

W wywiadzie u wszystkich badanych osób nie stwierdzono zaburzeń, które mogły mieć wpływ na trening na symulatorze. 3 osoby miały objawy astenopii (związane z wiekiem zaburzenia akomodacji, powodujące problemy z czytaniem bez korekcji okularowej)

– Badanie okulistyczne przedmiotowe

1. Badanie wady wzroku. Badanie refrakcji przy pomocy autorefraktometru komputerowego wykazało u 11 osób wady wzroku nie przekraczające +/- 1,5D, czyli stanu refrakcji, który zazwyczaj nie wymaga korekcji okularowej. U 2 osób wada wynosiła -2,0D, u jednej -3,75/-3,5 D, zaś jednej -5,0/-5,5 D. Osób z tymi wadami nie wykluczono z treningu, ponieważ zgodnie z przepisami mogą one mieć prawo jazdy.

2. Badanie ostrości wzroku. Ostrość wzroku okiem prawym i lewym u 10 osób wahała się w granicach 0,8-1,0. U 5 osób wynosiła ona w granicach 0,5-0,6. A więc u żadnej z badanych osób nie stwierdzono obniżenia ostrości wzroku, która dyskwalifikowała je do prowadzenia pojazdów.

3. Badanie stanu filmu łzowego przy pomocy nieinwazyjnego testu przerywania ciągłości filmu łzowego (NIBUT)) i stabilności warstwy lipidowej filmu łzowego z użyciem aparatu Tearscope. Badanie NIBUT wykazało prawidłowe wartości u wszystkich 15 osób (>10 sek.). Badanie warstwy lipidowej nie wykazało nieprawidłowo cienkiej jej grubości u 13 osób (wartości A-C). U 2 osób grubość warstwy lipidowej była ścieńczała (wartość E)

4. Badanie stanu widzenia obuocznego przy pomocy testu Wortha. Badanie wykazało prawidłowe widzenie obuoczne u wszystkich badanych.

5. Badanie stereoskopii przy pomocy testu „Muchy”. Bardzo dobrą stereoskopię (stopień 8-9) stwierdzono u 14 osób. Niewielkie obniżenie stereoskopii występowało u 1 osoby (stopień 5).

6. Badanie ustawienia oczu przy pomocy testu „cover test”. W badaniu nie stwierdzono zaburzeń stabilności pozycji obu oczu w czasie ich naprzemiennego zasłaniania (brak zeza o małych kącie oraz zeza utajonego).

Badanie realizowane po treningu składało się z:

– Wywiad

12 osób nie podało żadnych zaburzeń widzenia po treningu na symulatorze. Trzy osoby podawały drobne zaburzenia w postaci: „dziwnego obrazu”, „lekkich zaburzeń przy skręcaniu” oraz „dziwnego wrażenia związanego z brakiem ruchu symulatora”. Objawy te można zakwalifikować jako 1 stopień choroby symulatorowej w klasyfikacji Chiłowa.

– Badanie okulistyczne przedmiotowe

1. Badanie ostrości wzroku. Badanie nie wykazało różnic w ostrości wzroku w porównaniu ze stanem przed treningiem na symulatorze. Drobne różnice rzędu 0,1 mieściły się w granicach błędów metody.

2. Badanie stanu filmu łzowego przy pomocy nieinwazyjnego testu przerywania ciągłości filmu łzowego (NIBUT)) i stabilności warstwy lipidowej filmu łzowego z użyciem aparatu Tearscope. Badanie NIBUT nie wykazało wydłużenia czasu przerywania filmu łzowego u wszystkich badanych. Badaniem warstwy lipidowej nie stwierdzono zmian w jej grubości u 14 osób. U 1 osoby obserwowano niewielkie ścięczenie grubości tej warstwy o 1 stopień, ale mieściło się to w zakresie wartości prawidłowych.

3. Badanie stanu widzenia obuocznego przy pomocy testu Wortha. Badanie nie wykazało zmian widzenia obuocznego u wszystkich badanych po treningu.

4. Badanie stereoskopii przy pomocy testu „Muchy”. Po treningu na symulatorze nie stwierdzono obniżenia stereoskopii u wszystkich badanych.

5. Badanie ustawienia oczu przy pomocy testu „cover test”. W badaniu nie stwierdzono zmian w pozycji obu oczu po treningu na symulatorze.

Wyniki badań prowadzonych na symulatorze z obrazowaniem „on screen”.

Badanie przed treningiem:

– Wywiad

W wywiadzie u wszystkich badanych osób nie stwierdzono zaburzeń, które mogły mieć wpływ na trening na symulatorze. 3 osoby miały objawy



astenopii (związane z wiekiem zaburzenia akomodacji, powodujące problemy z czytaniem bez korekcji okularowej)

– Badanie okulistyczne przedmiotowe

1. Badanie wady wzroku. Badanie refrakcji przy pomocy autorefraktometru komputerowego wykazało u 11 osób wady wzroku nie przekraczające +/- 1,5D, czyli stanu refrakcji, który zazwyczaj nie wymaga korekcji okularowej. U 2 osób wada wynosiła -2,0D, u jednej -3,5/-3,25 D, zaś jednej -5,25/-5,25 D. Osób z tymi wadami nie wykluczono z treningu, ponieważ zgodnie z przepisami mogą one mieć prawo jazdy (kat. A i B) zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 15 kwietnia 2011r.

2. Badanie ostrości wzroku. Ostrość wzroku okiem prawym i lewym u 10 osób wahała się w granicach 0,8-1,0. U 5 osób wynosiła ona w granicach 0,4-0,7. A więc u żadnej z badanych osób nie stwierdzono obniżenia ostrości wzroku, która dyskwalifikowała je do prowadzenia pojazdów mechanicznych (kat. A i B) zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 15 kwietnia 2011r.

3. Badanie stanu filmu łzowego przy pomocy nieinwazyjnego testu przerywania ciągłości filmu łzowego (NIBUT)) i stabilności warstwy lipidowej filmu łzowego z użyciem aparatu Tearscope. Badanie NIBUT wykazało prawidłowe wartości u 15 (>10 sek.). Badanie warstwy lipidowej nie wykazało nieprawidłowo cienkiej jej grubości u 11 osób (wartości A-C). U 4 osób grubość warstwy lipidowej była ścięczała (wartość D-E)

4. Badanie stanu widzenia obuocznego przy pomocy testu Wortha. Badanie wykazało prawidłowe widzenie obuoczne u wszystkich badanych.

5. Badanie stereoskopii przy pomocy testu „Muchy”. Bardzo dobrą stereoskopię (stopień 8-9) stwierdzono u 14 osób. Niewielkie obniżenie stereoskopii występowało u 1 osoby (stopień 5).

6. Badanie ustawienia oczu przy pomocy testu „cover test”. W badaniu nie stwierdzono zaburzeń stabilności pozycji obu oczu w czasie ich naprzemiennego zasłaniania (brak zeza o małych kącie oraz zeza utajonego).

Badanie po treningu

– Wywiad

10 osób nie podało żadnych zaburzeń widzenia po treningu na symulatorze z systemem projekcji „on screen”. 5 osób podawało zaburzenia w postaci: „duszności”, dziwnego obrazu, lekkich mdłości, „skręcenie obrazu” oraz „zawrotów głowy”. Objawy te można zakwalifikować jako 1 stopień

u 4 osób, a w 1 przypadku jako 2 stopień choroby symulatorowej w klasyfikacji Chiłowa.

– Badanie okulistyczne przedmiotowe

1. Badanie ostrości wzroku. Badanie nie wykazało różnic w ostrości wzroku w porównaniu ze stanem przed treningiem na symulatorze. Drobne różnice rzędu 0,1 mieściły się w granicach błędu metody.

2. Badanie stanu filmu łzowego przy pomocy nieinwazyjnego testu przerywania ciągłości filmu łzowego (NIBUT)) i stabilności warstwy lipidowej filmu łzowego z użyciem aparatu Tearscope. Badanie NIBUT nie wykazało wydłużenia czasu przerywania filmu łzowego u wszystkich badanych. Badaniem warstwy lipidowej nie stwierdzono zmian w jej grubości u 14 osób. U 1 osoby obserwowano niewielkie ścięczenie grubości tej warstwy o 1 stopień, ale mieściło się to w zakresie wartości prawidłowych.

3. Badanie stanu widzenia obuocznego przy pomocy testu Wortha. Badanie nie wykazało zmian widzenia obuocznego u wszystkich badanych po treningu.

4. Badanie stereoskopii przy pomocy testu „Muchy”. Po treningu na symulatorze nie stwierdzono obniżenia stereoskopii u 14 osób. U 1 osoby obserwowano zmniejszenie zakresu stereoskopii o 1 stopień (z 5 na 4).

5. Badanie ustawienia oczu przy pomocy testu „cover test”. W badaniu nie stwierdzono zmian w pozycji obu oczu po treningu na symulatorze.

Dlaczego choroba symulatorowa występowała częściej w symulatorze z ekranem „on screen” niż cylindrycznym? Wydaje się, że jest to spowodowane bliskością ekranu. Jest tu analogia do występowania objawów przy oglądaniu filmów w technologii 3D. Oglądanie filmów trójwymiarowych w kinie rzadko powoduje występowanie choroby symulatorowej ponieważ ekran znajduje się daleko od widzów. Wprowadzenie technologii 3D do telewizji spowodowało, że jej objawy zaczęły być odczuwane o wiele częściej. Szacuje się, że może ona występować u 10–20% osób oglądających telewizję 3D. Im bowiem bliżej siedzimy ekranu, tym większe jest prawdopodobieństwo jej odczuwania.

Przeprowadzone badania narządu wzroku wykazały, że trening na symulatorach z obrazowaniem na ekranach „on screen” oraz cylindrycznym nie powodował zmian w stanie narządu wzroku u badanych w postaci pogorszenia się ostrości wzroku, stanu filmu łzowego, stanu widzenia obuocznego, stereoskopii i ustawienia oczu. Subiektywnie odczuwane objawy

choroby symulatorowej występowały nieco rzadziej po treningu na symulatorze z ekranem cylindrycznym niż „on screen”. Wydaje się, że lepsza tolerancja treningu na symulatorze z ekranem cylindrycznym jest spowodowana większą odległością ekranu. Prowadzenie wskazanych badań w obszarze właściwości eksploatacyjnych symulatorów może usprawnić proces testów związanych z oceną własności eksploatacyjnych konstruowanych symulatorów jazdy. Pozwalają one w fazie jego powstawania na szybsze uzyskanie wymaganych charakterystyk HMI.

## BIBLIOGRAFIA

### Publikacje zwarte, artykuły

1. Blaauw G.J., *Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: a validation study*. Human Factors 24 (4), 1982, s. 473-486.
2. Blana E., Golias J., *Behavioural validation of fixed-base driving simulator*, Proceedings of Driving Simulation Conference (DSC'99), Paris, France, September 7-8, 1999, s. 227-240.
3. Eckman P., *Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life* (wydanie drugie), wyd. NY: Henry Holt and Company LLC., New York, USA 2007.
4. Godley S., Triggs T. J., Fildes B. N., *Driving simulator validation for speed research*, Accident Analysis and Prevention, vol. 34 (2002).
5. Lazzaro N., *The Four Keys to Fun: Designing Emotional Engagement and Viral Distribution without Spamming Your Friends*, ACM SIGCHI 2009 Proceedings, Palo Alto, USA.
6. Weir D., *Application of a driving simulator to the development of in-vehicle human-machine-interfaces*. IATSS Research (International Association of Traffic and Safety Sciences), vol. 34 (2010).
7. Yan X Abdel-Aty, M, Radwan E, Wang X., P. Chilakapati: *Validating a driving simulator using surrogate safety measures*. Accident Analysis and Prevention, vol. 40 (2008).

### Źródła prawa

8. Ustawa z dnia 20.06.1997 r. *Prawo o ruchu drogowym*, Dz.U. 05.108.908 poz. 128 z 2017 r.

### Źródła internetowe

9. <http://www.policja.pl/pol/aktualnosci/138883,Uprawnienia-pojazdow-uprzywilejowanych.html>

10. D. Foint, *Zderzenie z pojazdem uprzywilejowanym? Kto jest winny...*,  
 11. [http://dariuszfoint.pl/zderzenie\\_z\\_uprzywilejowanym/](http://dariuszfoint.pl/zderzenie_z_uprzywilejowanym/)

#### Inne

12. Projekt badawczy „Symulator kierowania pojazdami uprzywilejowanymi w sytuacjach typowych i ekstremalnych” Nr O ROB 0011 01/ID/11/1, realizowany w latach 2012 – 2013.  
 13. Sprawozdanie z zadania nr 2, G. Gudzbeler, *Przeprowadzenie wstępnych badań porównawczych symulatorów wyposażonych w układy projekcji obrazu na ekranie cylindrycznym oraz „on screen”, WSPol w Szczytnie, maszynopis (niepublikowany).*

**prof. dr hab. Kuba Jałoszyński**, profesor nauk społecznych (2012 rok). Od ponad 30. lat zajmuje się problematyką związaną z walką i przeciwdziałaniem zagrożeniom terrorystycznym. W 1997 roku uzyskał stopień naukowy doktora nauk wojskowych w specjalności taktyka, po obronie rozprawy doktorskiej nt.: *Taktyka działania pododdziałów antyterrorystycznych* – Wydział Wojsk Lądowych Akademii Obrony Narodowej w Warszawie, a 2004 roku stopień naukowy doktora habilitowanego nauk wojskowych w specjalności dowodzenie, po kolokwium habilitacyjnym i przedstawieniu rozprawy habilitacyjnej nt.: *Koncepcja współczesnych działań antyterrorystycznych* – Wydział Wojsk Lądowych Akademii Obrony Narodowej w Warszawie. Przez 23 lata służył w warszawskim pododdziale antyterrorystycznym, w tym przez 9 lat jako jego dowódca. Twórca koncepcji utworzenia centralnego pododdziału kontrterrorystycznego Policji. Pełnomocnik Komendanta Głównego Policji do jego utworzenia (2002 rok). Doradca Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji ds. terroryzmu, sekretarz Międzyresortowego Zespołu ds. Zagrożeń Terrorystycznych, kierownik Stałej Grupy Ekspertckiej przy tym Zespole (2006/2007 rok). Doradca Sejmowej Komisji ds. Służb Specjalnych Sejmu VIII kadencji. Nauczyciel akademicki (profesor zwyczajny) w Wyższej Szkole Policji w Szczytnie. Autor licznych opracowań w obszarze działań kontrterrorystycznych, między innymi jedynych – polskojęzycznych, podręczników z zakresu taktyki antyterrorystycznej a także izraelskiego systemu wyszkolenia strzeleckiego, jak również takich monografii jak: „Współczesny wymiar antyterroryzmu” – Warszawa 2008, „Jednostka kontrterrorystyczna – element działań bojowych w systemie bezpieczeństwa antyterrorystycznego” – Szczytno 2011, „Centralny pododdział antyterrorystyczny polskiej Policji – BOA KGP” – Szczytno 2016.

**mł. insp. dr Grzegorz Gudzbeler**, pełni służbę w Policji od 21 lat. Obecnie jako Dyrektor Instytutu Koordynacji Badań i Funduszy Pomocowych Wyższej Szkoły Policji w Szczytnie. Absolwent kierunków matematyka użytkowa, informatyka oraz zarządzanie instytucjami publicznymi. Uczestnik 9. projektów badawczo-rozwojowych o charakterze krajowym i międzynarodowym w charakterze wykonawcy, kierownika, koordynatora. Prelegent oraz członek komitetów naukowych i organizacyjnych wiodących konferencji międzynarodowych. Użytkownik końcowy w wielu projektach europejskich oraz członek komitetów sterujących konsorcjów kierowanych naukowo-przemysłowych. Autor ponad 40 publikacji i komunikatów naukowych w obszarze symulacji komputerowej, cyberprzestępczości i wsparcia technicznego działań o charakterze kryzysowym wydawanych m.in. w USA, Chinach, Hongkongu, Australii. Uczestnik jedenastu staży zagranicznych m.in. w Sam Houston University, Law Enforcement Management Institute oraz Instituto Superior de Ciencias Policiaia e Seguranca Interna w Lisbonie. Zastępca redaktora naczelnego Internal Security Journal (ISSN:2080-5268). Członek Międzynarodowego stowarzyszenia inżynierów – IAENG (International Association of Engineers) (Member No: 125473) oraz NDIA (National Defence Industrial Association – Los Angeles (LA)USA).

CITE THIS ARTICLE AS:

G. Gudzbeler, K. Jałoszyński, *Ocena własności funkcjonalnych symulatorów pojazdów oraz nowoczesnych systemów projekcji – badania porównawcze*, „Kultura Bezpieczeństwa. Nauka – Praktyka – Refleksje”, 2017, no 25, p. 106-134, DOI: 10.24356/KB/25/4.

Licence: This article is available in Open Access, under the terms of the Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0; for details please see <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the author and source are properly credited. Copyright © 2017 University of Public and Individual Security “Apeiron” in Cracow