

**ANALIZA EFEKTÓW ODDZIAŁYWANIA SYMULATORA NA POWSTAWANIE
CHOROBY SYMULATOROWEJ W BADANIACH KIEROWCÓW
SIMULATOR SICKNESS OCCURRENCE AND EFFECTS ANALYSIS DURING
DRIVERS RESEARCH**

Mikołaj KRUSZEWSKI
mikołaj.kruszewski@its.waw.pl

Paula RAZIN
paula.razin@its.waw.pl

Michał NIEZGODA
michal.niezgoda@its.waw.pl

Ewa SMOCZYŃSKA
ewa.smoczynska@its.waw.pl

Tomasz KAMIŃSKI
tomasz.kaminski@its.waw.pl

Instytut Transportu Samochodowego
Centrum Telematyki Transportu
Pracownia Symulatorów Jazdy

Streszczenie: Istotnym czynnikiem wpływającym na jakość danych otrzymywanych w badaniach z użyciem symulatorów jazdy może być występowanie choroby symulatorowej u uczestników badań. Nasilone objawy choroby symulatorowej mogą uniemożliwić uczestnikowi badań udział w eksperymentach z wykorzystaniem symulatorów jazdy. Jedną z metod pomiaru oddziaływania tych objawów jest metoda kwestionariuszowa – SSQ (ang. simulator sickness questionnaire), którą zastosowano przy przeprowadzaniu badań w ramach projektu EYEVID.

W poniższym artykule przedstawiono wyniki analizy kwestionariuszy SSQ 45 osób (14 kobiet, 31 mężczyzn), uczestników badań w projekcie EYEVID. Wśród osób biorących udział w badaniu odnotowano jeden przypadek nasilenia objawów choroby symulatorowej uniemożliwiający dalsze prowadzenie badań, który opisano osobno.

Abstract: Data quality in experiments performed using high-class driving simulators still remains the subject of concerns regarding influence of simulator sickness (SS) on participants. Occurrence of severe symptoms of SS may be the cause for participants to be unable to take part in simulator experiment. The SSQ – simulator sickness questionnaire method is one of the commonly used tools for SS measurement.

This paper presents results of 45 (14 female, 31 male) participants taking part in simulator studies during EYEVID project. In the whole group there was only one case, when SS symptoms occurrence cause the participant have to give up her participation, which is analyzed separately. For other participants, the paper presents analysis for SS occurrence during survey.

Słowa kluczowe: symulatory jazdy, choroba symulatorowa, SSQ

Key words: driving simulators, simulator sickness, SSQ

WSTĘP

Symulatory jazdy stanowią od lat uznane narzędzie badawcze stosowane w motoryzacji. Badania w symulatorach jazdy są odpowiednim zamiennikiem dla badań terenowych (Bella, 2008). Możliwe jest wskazanie kilku przesłanek potwierdzających tę tezę. Badania terenowe (prowadzone zarówno w ruchu drogowym, jak i na torach testowych) są drogie w przeprowadzaniu oraz skomplikowane ze względu na kompleksowość tworzenia sytuacji badawczej przy zapewnieniu braku oddziaływania personelu badawczego na kierowcę, a także kontrolę ruchu i otoczenia. Nowoczesne symulatory jazdy posiadają natomiast szereg cech mogących ułatwić prowadzenie badań: relatywnie niski koszt prowadzenia badań, zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa uczestników, kontrola warunków eksperymentu czy możliwość łatwego pozyskiwania danych. Jedną z istotnych przeszkód dla prowadzenia badań z ich użyciem wydaje się być czynnik choroby symulatorowej.

1. CHOROBA SYMULATOROWA W BADANIACH KIERUJĄCYCH

Choroba symulatorowa, która jest niekiedy traktowana jako odmiana choroby lokomocyjnej (Rizzo, 2003), to zespół nieprzyjemnych w odczuciu symptomów, które pojawiają się w trakcie korzystania z symulatora jazdy. Jedną z popularnych teorii przyczyn powstawania choroby symulatorowej mówi o niezgodności pomiędzy sygnałami odczuwanymi przez organ równowagi (aparatus przedsionkowy, będący częścią ucha wewnętrznego) a otrzymywanymi kanałem wzrokowym (Brooks, 2010).

Choroba symulatorowa może (za Cobb, 1999):

- wpływać na rzetelność uzyskiwanych wyników pomiarów,
- powodować, że niektórzy uczestnicy mogą nie być w stanie ukończyć badań wykonywanych w symulatorze jazdy.

W badaniach kierujących pojazdami wykonywanych z użyciem symulatorów jazdy przyjęło się wykorzystywać dwie metody pomiaru symptomów choroby symulatorowej: metody pomiaru reakcji fizjologicznych lub metody kwestionariuszowej. W projekcie EVEVID zdecydowano się na wybór drugiej z tych metod.

1.1. Korzyści z zastosowania e-procurement

Najpopularniejszą metodą badania wpływu choroby symulatorowej na uczestników badań z użyciem symulatorów jazdy jest wykorzystanie metody kwestionariuszowej SSQ (ang. simulator sickness questionnaire) opracowanej i opublikowanej przez zespół Kennedy`ego w 1993 roku (Kennedy, 1993). Od czasu swojej publikacji metoda zyskała duże

uznanie środowiska naukowego jako skuteczna i tania metoda kontroli zjawiska choroby symulatorowej w badaniach. Wskazywanym w literaturze istotnym problemem w stosowaniu metody samoopisowej jaką jest SSQ jest fakt, że poszczególne skale wchodzące w skład metody są ze sobą silnie skorelowane, co znacząco utrudnia budowanie modeli wyjaśniających zjawisko, a przez to interpretację wyników (Biernacki, 2012).

Pierwsza wersja kwestionariusza SSQ bazowała na ocenie w czterostopniowej skali 16 symptomów. Znaną modyfikacją SSQ jest MSQ – Pensacola Motion Sickness Questionnaire – składający się z 23 symptomów ocenianych w 4 stopniowej skali. Niektóre adaptowane wersje SSQ, nazywane popularnie RSSQ (ang. Revised Simulator Sickness Questionnaire), które były rozwijane w różnych zajmujących się tym problemem zespołach, mogą mieć znacznie większą liczbę symptomów ocenianych nawet w dziesięciostopniowej skali.

W projekcie zdecydowano się na wykorzystanie wersji RSSQ, w którym ocenianych jest 28 symptomów w czterostopniowej skali. Symptomy zgrupowane są w trzech kategoriach:

- symptomów nudności (N),
- symptomów okulomotorycznych (O),
- symptomów dezorientacji (D).

Przyporządkowanie poszczególnych symptomów do ich kategorii prezentuje tabela 1.

Tabela 1. Przyporządkowanie symptomów SSQ do kategorii

LP	Symptom	Kategoria		
		Nudności	Okulomotoryczne	Dezorientacja
1	Ogólny dyskomfort	X	X	
2	Zmęczenie		X	
3	Znudzenie			
4	Senność			
5	Ból głowy		X	
6	Zmęczenie oczu		X	
7	Trudności ze skupieniem się		X	X
8a	Zwiększone wydzielanie śliny	X		
8b	Suchość w ustach			
9	Pocenie się	X		
10	Mdłości	X		X
11	Trudności z koncentracją	X	X	
12	Depresja			
13	Dezorientacja			X
14	Niewyraźne widzenie		X	X

LP	Symptom	Kategoria		
		Nudności	Okulomotoryczne	Dezorientacja
15a	Oszłomienie (przy oczach otwartych)			X
15b	Oszłomienie (przy oczach zamkniętych)			X
16	Zawroty głowy			X
17	Przebłyski pamięci			
18	Ogólne osłabienie			
19	Potrzeba zaczerpnięcia oddechu			
20	Dolegliwości żołądkowe	X		
21	Utrata apetytu			
22	Wzmożony apetyt			
23	Potrzeba wypróżnienia			
24	Poczucie zagubienia			
25	Uczucie odbijania się	X		
26	Wymioty			

Źródło: R.S. Kennedy, N.E. Lane, K.S. Berbaum, M.G. Lilienthal, M.G. (1993). *A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness*. International Journal of Aviation Psychology, 3(3), 203 – 220.

1.2. Metoda analizy kwestionariuszy SSQ

Analiza kwestionariuszy SSQ sprowadza się do przypisania wartości liczbowych poszczególnym symptomom. Następuje to przez zastosowanie przelicznika 0 – dla symptomów dla których wskazano „Brak” symptomu, 1 – dla symptomów odczuwanych „Nieznacznie”, 2 – dla odczuwanych „Umiarkowanie” i 3 – dla odczuwanych „Dotkliwie”. Następnie sumowane są wyniki uzyskane w każdej skali osobno, zgodnie z przyporządkowaniem wskazanym w tabeli 1. Dla obliczenia wyniku łącznego wykonuje się dodatkowo sumę wszystkich uzyskanych wyników w tych skalach. Należy tu zauważyć, że nie są sumowane dane, dla których nie wskazano żadnego przyporządkowania do kategorii symptomów. Te dane nie są poddawane analizie liczbowej.

W celu analizy porównawczej wyników stosuje się dodatkowe współczynniki przeliczeniowe, które wynoszą odpowiednio:

- 9,54 dla kategorii Nudności,
- 7,58 dla kategorii symptomów Okulomotorycznych,
- 13,92 dla kategorii Dezorientacji oraz
- 3,74 dla kategorii wyniku łącznego.

Tak obliczone współczynniki poszczególnych kategorii symptomów mogą być analizowane pod względem oddziaływania różnych czynników ekspozycji na uczestnika badań w trakcie jazdy symulatorem.

2. PRZEBIEG BADANIA

Procedura badań obejmowała wykonanie trzech ankiet SSQ przez każdego uczestnika. Wypełnienie kolejnych ankiet następowało:

1. bezpośrednio przed korzystaniem z symulatora jazdy, przed scenariuszem adaptacyjnym,
2. bezpośrednio po scenariuszu adaptacyjnym,
3. bezpośrednio po scenariuszu badawczym.

Pomiędzy scenariuszem adaptacyjnym a scenariuszem badawczym uczestnik korzystał z obowiązkowej 15-minutowej przerwy. Graficzną reprezentację przebiegu badania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przebieg badania ze wskazanymi momentami wypełniania ankiety SSQ przez uczestników

Źródło: opracowanie własne.

2.1. Cel badań

Badanie z użyciem symulatora jazdy w projekcie EYEVID zostało przeprowadzone w celu porównania wyników charakterystyki ruchu gałki ocznej osób badanych i charakterystyki ich jazdy w zbliżonych warunkach ruchu rzeczywistego oraz warunkach symulacyjnych. W badaniu wzięto pod uwagę oddziaływanie zmieniającej się charakterystyki otoczenia drogi na kierowcę. W tym celu w symulatorze jazdy odwzorowano odcinek drogi krajowej numer 2 przebiegający przez obszar Warszawy-Wesołej, Starej Miłosnej, Sulejówka oraz miejscowości Zakręt. Łącznie odcinek ten miał długość 5,475 km.

Wykorzystany do badań scenariusz symulacji obejmował odwzorowanie rzeczywistego odcinka drogi krajowej numer 2 w rejonie dzielnicy Wesoła m. st. Warszawy na odcinku od ul. Asfaltowej do ul. Gwarnej. W scenariuszu symulacji zaimplementowano również poprzedzający odcinek badawczy kilkusetmetrowy fragment drogi obejmujący obszar leśny. (Kamiński, 2015).

Na zaimplementowanym do silnika symulacji odcinku odwzorowano ze szczególną dbałością elementy infrastruktury pasa drogowego (np. bariery energochłonne, słupy), elementy oznakowania pionowego i poziomego oraz sygnalizację świetlną. W zakresie odwzorowania pobocza i otoczenia drogi zwrócono uwagę na elementy dużej infrastruktury (np. budynki), charakterystyczne elementy zieleni i małą infrastrukturę (przystanki komunikacji publicznej, płoty itp.). Na odcinku z wysoką dbałością o szczegóły odwzorowano też różnego rodzaju nośniki reklam (szyldy, billboardy itp.), które stanowią kluczowy element przeprowadzonych badań.

Uzupełniane w trakcie badań kwestionariusze SSQ miały na celu dostarczenie informacji na temat stanu psychofizycznego osób badanych. Określenie takiego stanu pozwala na ewentualne wykluczenie z analiz statystycznych tych wyników, na które mogły mieć wpływ silnie odczuwane symptomy choroby symulatorowej.

2.2. Próba badawcza

W przeprowadzonym badaniu wzięło udział 45 osób: 31 mężczyzn oraz 14 kobiet. Mężczyźni stanowili więc 69% próby, natomiast kobiety – 31%. Próbę badawczą podzielono także na dwie grupy pod względem wieku. W tym przypadku liczebność pierwszej grupy do 40 roku życia (<40) wynosiła 27 osób, co stanowiło 60% próby badawczej, natomiast grupa powyżej 40 roku życia (≥ 40) liczyła 18 osób, czyli 40% całej próby badawczej. Średnia wieku wyniosła 42,66, a odchylenie standardowe było równe 11,91.

2.3. Aparatura badawcza

Badania w warunkach symulacyjnych były wykonywane z użyciem symulatora AS1200-6 (rys. 2), znajdującego się w Laboratorium Symulatorów Jazdy w Instytucie Transportu Samochodowego. Ten wysokiej klasy symulator badawczy został zbudowany z:

- pełnowymiarowej i w pełni funkcjonalnej kabiny pojazdu marki Opel Astra IV,
- układu wizualizacji,
- ruchomej platformy o sześciu stopniach swobody.



Rys. 2. Symulator AS 1200-6

Źródło: opracowanie własne.

Ruchy gałki ocznej w trakcie eksperymentu były mierzone przy użyciu okulografu SensoMotoric Instrument EyeTracking Glasses (SMI ETG), przedstawionym na rysunku 3. Okulograf ten należy do grupy tzw. urządzeń mobilnych. Urządzenia tej grupy są instalowane na głowie osoby badanej tak, by miała ona swobodę ruchów. Urządzenie SMI ETG ma formę okularów, co pozwala na szybkie przyzwyczajanie się osób badanych do jego używania.



Rys. 3. Okulograf SMI EyeTracking Glasses

Źródło: opracowanie własne.

Wykorzystany okulograf pozwala na śledzenie obu gałek ocznych jednocześnie. Odczyty urządzenia są nanoszone na obraz kontekstowy (rejestrwany kamerą skierowaną do przodu) o rozdzielczości 1280 x 960px.

3. WYNIKI BADANIA

Z próby badawczej, która liczyła 45 osób, tylko jedna nie ukończyła badania z powodu choroby symulatorowej. Jednak skala problemu okazała się znacznie większa, ponieważ część osób, która pomyślnie wykonała wszystkie przewidziane w badaniu zadania, skarżyła się na nasilające się nieprzyjemne objawy. Niektóre oznaki wskazywały na chorobę symulatorową.

Poniżej w tabeli 2 przedstawiono średnie wyniki otrzymane z kwestionariuszy SSQ skategoryzowane według płci oraz podzielone ze względu na kategorie symptomów. Poszczególne wartości zestawiono na wykresach słupkowych. Na rysunku 4 przedstawiono średnie wyniki kwestionariusza SSQ1 (wykonanego przed jazdą adaptacyjną) z podziałem na płeć badanych. Na rysunku 5 zestawiono średnie wyniki SSQ2 (po scenariuszu adaptacyjnym) z podziałem według kryterium płci, natomiast rysunek 6 obrazuje wyniki SSQ3 (kwestionariusza po scenariuszu badawczym) również uwzględniające podział na kobiety i mężczyzn.

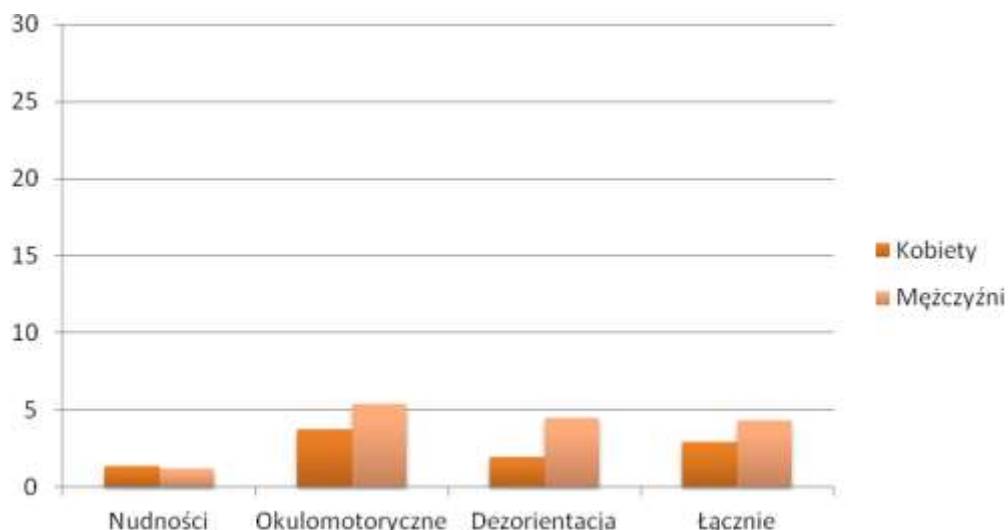
Tabela 2. Średnie wyniki SSQ według kryterium płci

	Nudności	Okulomotoryczne	Dezorientacja	Łącznie
Przed scenariuszem adaptacyjnym (SSQ1)				
Kobiety (N=14)	1,36	3,78	1,99	2,94
Mężczyźni (N=27)	1,23	5,37	4,49	4,34
Po scenariuszu adaptacyjnym (SSQ2)				
Kobiety (N=14)	19,08	18,36	21,87	22,44
Mężczyźni (N=27)	8,31	11,71	13,47	12,67
Po scenariuszu badawczym (SSQ3)				
Kobiety (N=14)	19,08	21,60	22,87	24,31
Mężczyźni (N=27)	8,31	14,88	16,61	15,08

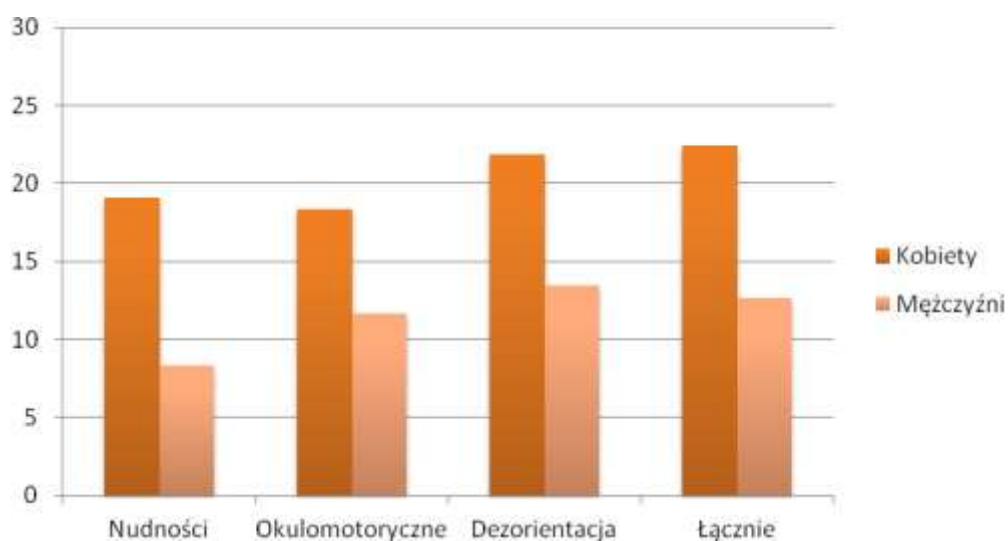
Źródło: opracowanie własne.

Na pierwszym wykresie średnie otrzymane wartości w poszczególnych kategoriach symptomów są niewielkie. Zarówno mężczyźni jak i kobiety nie wykazywali oznak choroby symulatorowej przed rozpoczęciem badania. Po jeździe adaptacyjnej zaobserwowano

znaczące nasilenie symptomów w stosunku do stanu sprzed badania: u mężczyzn prawie trzykrotne, natomiast u kobiet niemal ośmiokrotne. Wśród kobiet objawy choroby symulatorowej były o 77% większe niż u mężczyzn.

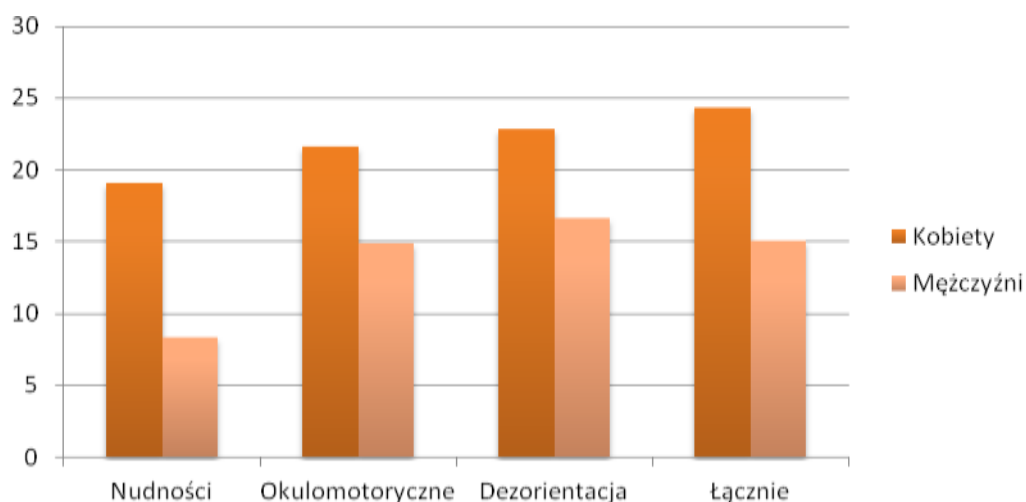


Rys. 4. Średnie wyniki kwestionariusza SSQ1 przed adaptacją według kryterium płci
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Średnie wyniki kwestionariusza SSQ2 po adaptacji według kryterium płci
Źródło: opracowanie własne.

Po przejechaniu scenariusza badawczego ponownie zaobserwowano wzrost nasilenia symptomów choroby symulatorowej. Jednak nie był on aż tak wyraźny jak w przypadku porównania wyników SSQ1 i SSQ2. U kobiet średnia wzrosła z 22,44 do 24,31, co oznacza wzrost o 8,3%, natomiast u mężczyzn średnia wzrosła z 12,67 do 15,08, czyli o 19%.



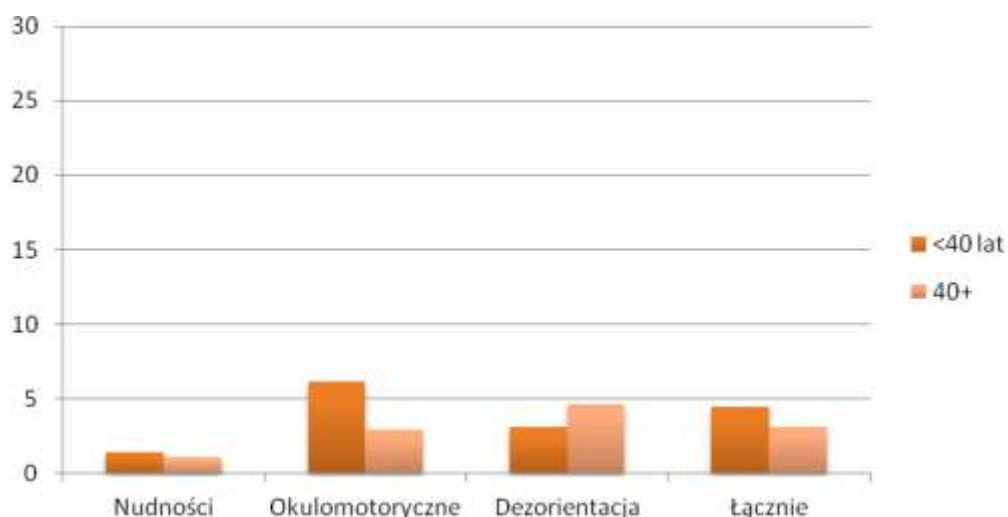
Rys. 6. Średnie wyniki kwestionariusza SSQ3 po scenariuszu badawczym według kryterium płci
Źródło: opracowanie własne.

Badanych podzielono także ze względu na wiek. Pierwszą grupę stanowiły osoby mające poniżej 40 lat (<40), natomiast drugą grupę – osoby powyżej 40 roku życia (≥ 40). W tabeli 3 zestawiono średnie wyniki kwestionariuszy SSQ z podziałem na dwie grupy wiekowe.

Tabela 3. Średnie wyniki SSQ według kryterium wieku

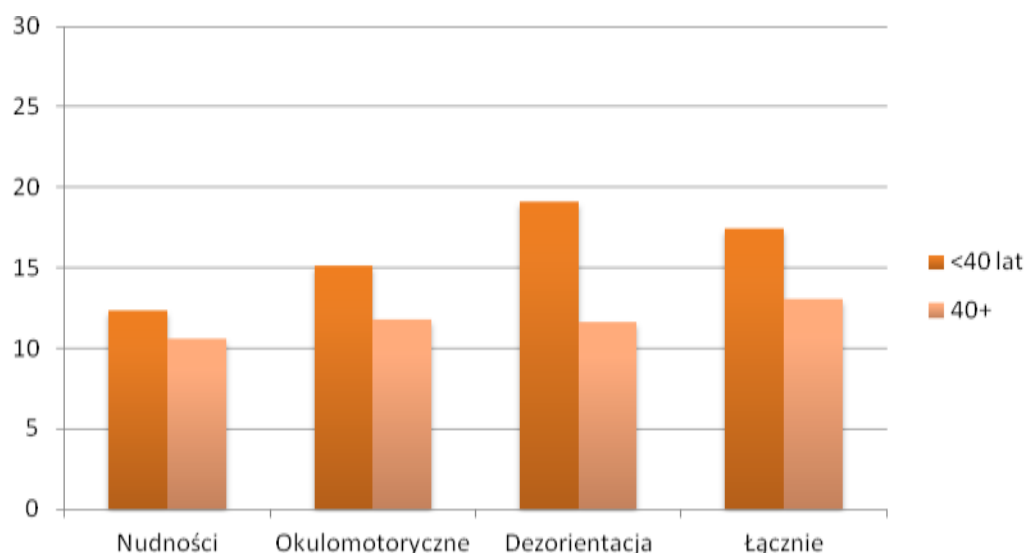
	Nudności	Okulomotoryczne	Dezorientacja	Łącznie
Przed scenariuszem adaptacyjnym (SSQ1)				
do 40 lat (N=27)	1,41	6,16	3,09	4,43
40+ (N=18)	1,06	2,94	4,64	3,12
Po scenariuszu adaptacyjnym (SSQ2)				
do 40 lat (N=27)	12,37	15,12	19,08	17,45
40+ (N=18)	10,60	11,76	11,60	13,09
Po scenariuszu badawczym (SSQ3)				
do 40 lat (N=27)	14,13	19,32	22,17	21,05
40+ (N=18)	7,95	13,44	13,15	13,30

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Średnie wyniki kwestionariusza SSQ1 przed adaptacją według kryterium wieku
Źródło: opracowanie własne.

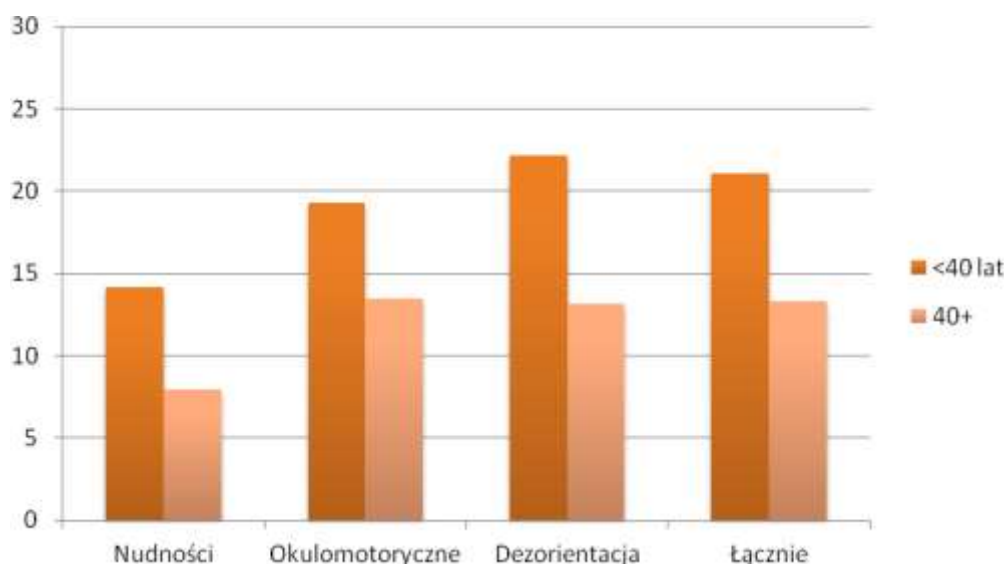
Na rysunku 7 przedstawiono średnie wyniki kwestionariusza SSQ1 (skategoryzowane według wieku), który badani wypełniali przed jazdą adaptacyjną. Osoby w obydwu grupach wiekowych przed badaniem nie wykazywały objawów choroby symulatorowej w znaczącym stopniu. Jednak w porównaniu do wykresu na rysunku 8, zauważalne są wyraźne różnice. Większe nasilenie objawów wskazywały osoby z młodszej grupy wiekowej. W kategoriach: nudności, okulomotoryczne, dezorientacja ich wyniki były wyższe kolejno o: 16,6%; 28,5%; 64,4%, co łącznie daje średni wynik wyższy o 33,3%.



Rys. 8. Średnie wyniki kwestionariusza SSQ2 po adaptacji według kryterium wieku
Źródło: opracowanie własne.

Porównując średnie wyniki otrzymane przed rozpoczęciem badania z uzyskanymi po scenariuszu adaptacyjnym, zaobserwowano prawie czterokrotny (3,9) wzrost nasilenia objawów wśród osób poniżej 40 roku życia oraz ponad czterokrotny (4,2) wzrost u osób powyżej 40 roku życia.

Na rysunku 9 zestawiono średnie wyniki kwestionariusza SSQ3, który był wypełniany przez badanych po scenariuszu badawczym. Podobnie jak w przypadku scenariusza adaptacyjnego osoby młodsze bardziej odczuwały skutki choroby symulatorowej. W porównaniu do stanu przed jazdą symulatorem osoby poniżej 40 roku życia wskazywały dziesięciokrotnie silniejsze skutki w kategorii nudności, ponad trzykrotnie – w kategorii okulomotoryczne oraz ponad siedmiokrotnie – w kategorii dezorientacja, co łącznie dało prawie pięciokrotny wzrost w porównaniu do stanu sprzed rozpoczęcia badań.



Rys. 9. Średnie wyniki kwestionariusza SSQ3 po scenariuszu badawczym według kryterium wieku

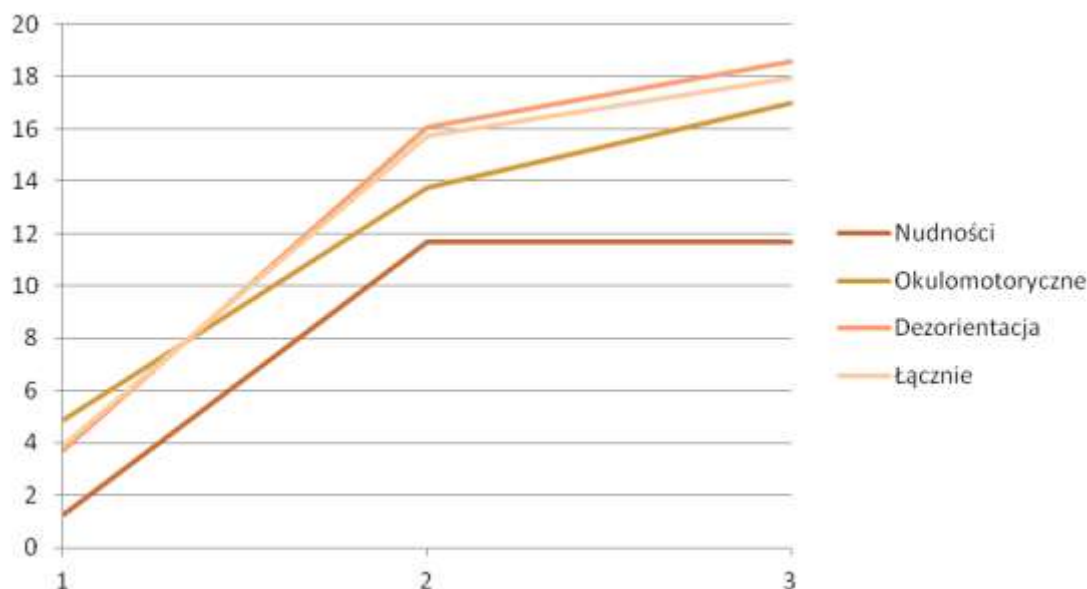
Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 4 przedstawiono średnie wyniki kwestionariuszy SSQ w kolejnych etapach badania z podziałem na kategorie symptomów. Znaczny wzrost średnich wartości zaobserwowano po przejechaniu scenariusza adaptacyjnego (SSQ2), co przedstawiono na wykresie (rys. 10). Natomiast po scenariuszu badawczym (SSQ3) wartości wzrosły w kategoriach symptomów okulomotorycznych oraz dezorientacji, natomiast symptomy określające kategorię nudności pozostały na tym samym poziomie. Największy wzrost zanotowano w przypadku dezorientacji (z 3,71 do 18,56), a najmniejszy dotyczył symptomów określonych jako nudności (z 1,27 do 11,66).

Tabela 4. Średnie wyniki SSQ w kolejnych etapach badania z podziałem na kategorie symptomów

	SSQ1	SSQ2	SSQ3
Średnia	Nudności		
	1,27	11,66	11,66
	Okulomotoryczne		
	4,87	13,78	16,96
	Dezorientacja		
	3,71	16,09	18,56
	Łącznie		
	3,91	15,71	17,95

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 10. Średnie wyniki SSQ w kolejnych etapach badania z podziałem na kategorie symptomów

Źródło: opracowanie własne.

4. PODSUMOWANIE

W trakcie badań prowadzonych w projekcie EYEVID wykonanych z użyciem symulatora jazdy AS1200-6 wykorzystano metodę SSQ do monitorowania wpływu symptomów choroby symulatorowej na uczestników. Spośród 45 osób, które wzięły udział w eksperymencie, tylko jedna osoba miała na tyle nasilone objawy choroby symulatorowej, że nie była w stanie kontynuować udziału w badaniach. U żadnej z pozostałych osób nie

stwierdzono nasilenia objawów choroby symulatorowej, które mogłyby spowodować konieczność wykluczenia wyników badań z analizy statystycznej.

W przypadku badań przeprowadzonych w projekcie, metoda SSQ okazała się wystarczająca do monitorowania stanu uczestników. Analiza ankiet pozwoliła na weryfikację post factum wpływu choroby na otrzymane wyniki badań.

5. LITERATURA

- Bella, F., (2008). *Driving simulator for speed research on two-lane rural roads*. Accident Analysis and Prevention, 40, 1078 – 1087.
- Biernacki, M., Dziuda, Ł. (2012). *Choroba symulatorowa jako realny problem badań na symulatorach*, Medycyna Pracy, 63(3), 377 – 388.
- Brooks, J.O., Goodenough, R.R., Crisler, M.C., Kleina, N.D., Alleya, R.L., Koon, B.L., Logan, W.C., Ogleb, J.H., Tyrrell, R.A., Willsa, R.S. (2010). *Simulator sickness during driving simulation studies*. Accident Analysis and Prevention, 42, 788 – 796.
- Cobb, S., Nichols, S., Ramsey, A., Wilson, J. (1999). *Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE)*. Presence, 8(2), 169 – 186.
- Kamiński, T., etc. *Raport EYEVID*, 2015.
- Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., Lilienthal, M.G. (1993). *A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness*. International Journal of Aviation Psychology, 3(3), 203 – 220.
- Rizzo, M., Sheffield, R.A., Stierman, L., Dawson, J. (2003). *Demographic and driving performance factors in simulator adaptation syndrome*. Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment. Training and Vehicle Design.