



Raport końcowy z wykonania przedmiotu umowy

„Ocena znaczenia niedosłuchu dla sprawnego i bezpiecznego wykonywania pracy w zawodzie kierowcy”

z dnia 19 września 2014r.

zawartej pomiędzy Zakładem Ubezpieczeń Społecznych z siedzibą w Warszawie,
a Instytutem Medycyny Pracy im. prof. dr Jerzego Nofera w Łodzi.



Czas trwania projektu: 19.09.2014 – 30.10.2015

Wykonawcy:

Prof. dr hab. med. Mariola Śliwińska-Kowalska – kierownik projektu

Lek. med. Piotr Kotyło

Mgr Elżbieta Rajkowska

Prof. dr hab. med. Alicja Bortkiewicz

Dr med. Jadwiga Siedlecka

Prof. dr hab. Wiesław Szymczak

STRESZCZENIE

Przesłanki. Zachowany słuch jest warunkiem sprawnego a zarazem bezpiecznego wykonywania pracy w wielu zawodach.

Cel. Celem części badawczej projektu była ocena zależności między stanem słuchu a sprawnością psychoruchową kierowcy w aspekcie sprawności i bezpieczeństwa kierowania pojazdem mechanicznym.

Materiał i metody. Ogółem zbadano 63 mężczyzn, w wieku od 31 do 65 lat, w przeważającej części pracujących zawodowo jako kierowcy. Słuch oceniano za pomocą audiometrii tonalnej oraz testu rozumienia mowy w szumie (*Hearing in Noise Test*, HINT), kwalifikując do badań osoby z prawidłowym słuchem oraz niepełnosprawnością słuchu niewielkiego i średniego stopnia. Sprawność psychoruchową oceniano w trakcie symulacyjnego prowadzenia autobusu miejskiego na symulatorze (*Aerospace Industry*), mierząc następujące parametry jazdy: czas trwania jazdy; liczbę klatek z odchyleniem kierownicy od pozycji 0; największą liczbę klatek, gdy kierownica była w pozycji 0; najdłuższy czas, gdy kierownica była w pozycji 0; liczbę klatek naciśnięć pedałów; największą liczbę klatek bez naciskania pedałów (v6); ogólny czas bez naciskania pedałów, a także spowodowanie sytuacji kolizyjnej (wypadku). Zastosowany model badania jest pierwszym tego typu w świecie.

Wyniki. Wyniki badań wskazują, że pogorszenie słuchu wpływa na technikę jazdy. Im większy ubytek słuchu tym częstość i czas hamowania podczas jazdy są mniejsze. Różnica istotnie statystyczna występuje między osobami z prawidłowym słuchem i uszkodzeniem słuchu przekraczającym średnio wartość 40 dB. Ryzyko sytuacji kolizyjnej (wypadku) na drodze było wielokrotnie mniejsze u osób z niedosłuchem (w uchu lewym) w porównaniu z osobami z prawidłowym słuchem. Nie stwierdzono statystycznych zależności między stanem słuchu a pozostałymi parametrami psychoruchowymi ocenianymi w trakcie jazdy symulacyjnej. Nie wykazano również wpływu wieku na uzyskane wyniki. Wyniki HINT dobrze korelowały z progami słuchu w audiometrii tonalnej w aspekcie oceny sprawności psychoruchowej kierowcy.

Wnioski. Wyniki badań wskazują na wpływ niedosłuchu na technikę prowadzenia pojazdu samochodowego. Przeciwnie jednak niż zakładano, wydaje się, że kierowcy z niewielkiego i średniego stopnia niedosłuchem prowadzą pojazdy samochodowe „ostrożniej” niż osoby z prawidłowym słuchem. Konieczne są dalsze badania nad powyższymi zależnościami, ukierunkowane m.in. na ocenę wpływu niedosłuchu na postrzeganie alarmowych sygnałów dźwiękowych, a także badania u osób z głębszymi uszkodzeniami słuchu, asymetrycznymi ubytkami słuchu oraz u pacjentów noszących aparaty słuchowe.

Zgodnie z celami, w ramach projektu opracowany został poradnik dla lekarzy orzeczników „Praca w zawodach wymagających dobrego słuchu - ocena sprawności czynnościowej słyszenia” oraz broszurka dla kierowców „Słuch a praca w zawodzie kierowcy”.

I. PRZESŁANKI DO PODJĘCIA BADAŃ

Uszkodzenie słuchu jest powszechnie występującym zaburzeniem narządów zmysłów u ludzi. Po 65 r.ż. aż 33% osób może wymagać protezowania słuchu aparatem słuchowym lub implantem ślimakowym dla sprawnego komunikowania się. Objawem współistniejącym z niedosłuchem jest szum uszny, stanowiący dodatkowy czynnik stresogenny.

Zachowany słuch jest warunkiem sprawnego, a zarazem bezpiecznego wykonywania pracy w różnych zawodach. Stanowi również pewien warunek kwalifikowania do pracy w zawodzie kierowcy. Zgodnie ze znowelizowanym Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 18 lipca 2014 roku w sprawie badań lekarskich osób ubiegających się o uprawnienia do kierowania pojazdami i kierowców, znacznie obniżone zostały wymagania dotyczące stanu słuchu, co umożliwia podjęcie pracy w zawodzie kierowcy również osobom z bardzo głębokimi uszkodzeniami, w tym zaprotezowanymi aparatem słuchowym lub wszczepem ślimakowym. Wydłużenie okresu aktywności zawodowej musi wiązać się jednak nie tylko z liberalizacją zapisów prawnych umożliwiającą zwiększony dostęp do zawodu kierowcy, lecz również z prowadzeniem działań mających na celu ochronę zdrowia samych kierowców, jak i przewożonych przez nich osób trzecich, poprzez eliminowanie lub ograniczanie wypadkowości. Stąd, w świetle powyższych danych, istotne jest przeprowadzenie badań oceniających wpływ uszkodzeń słuchu na sprawność psychoruchową osób kierujących pojazdami mechanicznymi.

II. CELE BADAWCZE

Celem pracy naukowo-badawczej była ocena czy i w jakim stopniu utrata słuchu wpływa na sprawność psychoruchową kierowcy w aspekcie sprawnego i bezpiecznego kierowania pojazdem mechanicznym.

Zadaniami szczegółowymi pracy były:

1. ocena zależności między stopniem pogorszenia ostrości słyszenia, ocenianym w oparciu o standardowe badanie audiometrii tonalnej a sprawnością psychoruchową podczas symulacyjnego prowadzenia autobusu i/lub pojazdu ciężarowego
2. ocena zależności między stopniem upośledzenia rozumienia mowy, ocenianym w oparciu o test rozumienia mowy w szumie (HINT – *Hearing in Noise Test*) a sprawnością

psychoruchową podczas symulacyjnego prowadzenia autobusu i/lub pojazdu ciężarowego,

3. zbadanie korelacji między wynikami badań słuchu przeprowadzonych za pomocą standardowego badania audiometrii tonalnej i testu rozumienia mowy w szumie (HINT) w aspekcie sprawności psychoruchowej podczas symulacyjnego prowadzenia autobusu i/lub pojazdu ciężarowego,
4. wyznaczenie granicy pogorszenia ostrości słyszenia, określanej w oparciu o standardowe badanie audiometrii tonalnej, powyżej której wzrasta ryzyko spowodowania wypadku podczas prowadzenia autobusu i/lub pojazdu ciężarowego,
5. wyznaczenie granicy upośledzenia rozumienia mowy, określanej w oparciu o wynik testu rozumienia mowy w szumie (HINT), powyżej której wzrasta ryzyko spowodowania wypadku podczas prowadzenia autobusu i/lub pojazdu ciężarowego.

III. BADANI

Rekrutację przeprowadzono w grupie losowo wybranych pracowników MPK – Łódź zatrudnionych na stanowisku pracy kierowcy autobusu, oraz wśród kierowców – pacjentów poradni audiologicznej IMP, którzy wyrazili chęć uczestnictwa w badaniach. Badania uzyskały zgodę Komisji Bioetycznej IMP w Łodzi. Warunkiem udziału w badaniach było: zgoda na udział w badaniach, potwierdzona zgodnie z wymogami Komisji Bioetycznej w formularzu „świadomej zgody pacjenta na udział w badaniach”. Za kryterium progowe włączenia do badań przyjęto co najmniej 5-letni staż pracy na stanowisku kierowcy autobusu. Wszyscy probanci otrzymali pisemną informację o celach i zakresie wykonywanych badań, oraz możliwość rezygnacji w każdym momencie trwania badań.

Łącznie badania wykonano w grupie 63 mężczyzn, w wieku od 31 do 65 lat (średnia 45,9), ze stażem pracy od 8 do 47 (tab. I).

Tabela I. Ogólna charakterystyka grupy badanych kierowców

Wiek /lat/	Ogólny staż pracy
45,9 ± 8,9 Min. 31 Max. 65	25,5 ± 9,3 Min. 8 Max. 47

IV. METODY

1. Badania kwestionariuszowe

U wszystkich osób przeprowadzono badanie kwestionariuszowe, ukierunkowane na zebranie danych dotyczących stażu pracy, ogólnego stanu zdrowia, nadwagi, chorób układu krążenia, czasu wystąpienia i głębokości uszkodzenia słuchu, współistniejących zawrotów głowy i szumów usznych.

Ocenę subiektywnych problemów percepcji słuchowej występujących w życiu codziennym dokonano u wszystkich spośród 63 osób w oparciu o Kwestionariusz samooceny jakości słyszenia, zaadaptowany w tym celu z anglojęzycznej wersji tzw. kwestionariusza „amsterdamskiego” (*Amsterdam Inventory for Auditory Disability and Handicap*, AIADH). Kwestionariusz „amsterdamski” (AIADH) służy do oceny wpływu niedosłuchu na jakość codziennego życia człowieka. Składa się on z 30 pytań (w tym 2 pytań kontrolnych, nie uwzględnianych w ocenie punktowej wyników kwestionariusza). Pytania są pogrupowane w pięć niezależnych części, oceniających różne aspekty psychoakustyczne zaburzeń codziennego słyszenia, w tym:

1. dyskryminację dźwięku,
2. lokalizację słuchową,
3. rozumienie mowy w hałasie,
4. rozumienie mowy w ciszy,
5. wykrywanie dźwięku.

Skala odpowiedzi na poszczególne pytania: „Zdecydowanie nie”, „Nie”, „Tak”, „Zdecydowanie tak” kodowana jest od 0-1-2-3, a następnie sumowana, oddzielnie dla każdej z pięciu części kwestionariusza. Maksymalna liczba osiągniętych punktów wynosi 84 (24+15+15+15+15 z poszczególnych części odpowiedzi), dwa pytania kontrolne nie są brane pod uwagę przy zliczaniu poszczególnych punktów skali ocen. Punktacja na poziomie $\geq 90\%$ wartości maksymalnej w każdej grupie pytań traktowana jest jako norma. Każdy z badanych wypełniał samodzielnie kwestionariusz AIADH. W przypadku braku zrozumienia któregoś z pytań, badany uzyskiwał wyjaśnienia od osoby nadzorującej badanie.

2. Badanie szeptem

Badanie rozumienia szeptu przeprowadzono w wyciszonym pomieszczeniu, oddzielnie na ucho prawe i lewe z zastosowaniem maskowania ucha przeciwnego

(niebadanego) przez rytmiczny ucisk na skrawek małżowiny usznej, w pozycji bokiem do badającego, z zasłonięciem oczu, co uniemożliwiało osobie badanej czytania z ust osoby badającej. W przypadku uzyskania informacji z wywiadu, że na któreś ucho pacjent gorzej słyszy, badanie wykonywano zaczynając od ucha lepiej słyszącego. W pozostałych przypadkach badanie zaczynało się od ucha prawego. Badanie szeptu przeprowadzał doświadczony laryngolog stosując technikę wypowiadania słów podczas jednostajnego wydechu, celem osiągnięcia maksymalnej powtarzalności wyników. W badaniu szeptem zastosowano materiał słowny zawierający po trzy słowa z przewagą widma wysokoczęstotliwościowych składowych fonemowych oraz trzy słowa z przewagą niskoczęstotliwościowych składowych. Za wynik rozumienia szeptu przyjmowano odległość w metrach (z dokładnością do ½ m), przy której osoba badana powtórzyła prawidłowo wszystkie trzy słowa z danego zakresu niskich i wysokich częstotliwości, słyszane oddzielnie na ucho prawe i lewe.

3. Audiometria tonalna

Badanie audiometrii tonalnej wykonano rejestrując progi słuchu dla przewodnictwa powietrznego w zakresie standardowych częstotliwości 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 8 kHz oraz progi dla przewodnictwa kostnego w zakresie częstotliwości 0,5, 1, 2, 3 i 4 kHz. Badania wykonano za pomocą legalizowanego w okresach rocznych audiometru klinicznego AC40 firmy Interacoustics / OB 822 firmy Madsen, zgodnie z zakresem i procedurą wyznaczania progów słuchu zawartą w normach PN-EN ISO 8253-1, stosując do wyznaczenia progów słuchu dla przewodnictwa powietrznego standardowe słuchawki TDH39P w dodatkowych osłonach wyciszających – firmy Audiocaps, oraz standardowyibrator kostny do pomiarów przewodnictwa kostnego B71. Badania wykonywano w kabinie ciszy odpowiadającej wymogom normy ISO 6189:1983. Celem eliminacji ewentualnego wpływu czasowego przesunięcia progu słuchu (*Temporary Threshold Shift*, TTS) na wynik pomiaru progów słuchu, badania wykonywano po co najmniej 12 godzinnej przerwie od chwili zaprzestania pracy w hałasie (na stanowisku kierowcy autobusu). Wyznaczanie progów słuchu dla przewodnictwa powietrznego i kostnego przeprowadzono ze standardowym skokiem pomiarowym 5 dB. Wszystkie badane osoby kwalifikowano do badania audiometrii tonalnej po wcześniejszym badaniu laryngologicznym – wziernikowania uszu (otoskopowym) wykonanym przez lekarza, celem wykluczenia z badań osób z blokadą

przewodów słuchowych – zalegającą woskowiną mogącą wpływać na oceniany stan słuchu.

4. Badanie (test) rozumienia mowy w hałasie (HINT)

Badanie rozumienia mowy w hałasie przeprowadzono w grupie 63 osób za pomocą opracowanego w latach 2012-2013 w IMP w Łodzi, we współpracy z *Department of Human Communication Sciences and Devices, House Ear Institute (HEI)*, w Los Angeles, USA; autorskiego testu rozumienia zdań w szumie (*Hearing in Noise Test, HINT*) dla języka polskiego. Test składa się z 10 zrównoważonych poziomem zrozumiałości oraz składem fonetycznym list, zawierających po 20 zdań każda. Badanie HINT wykonano za pomocą udostępnionego przez HEI oprogramowania komputerowego Ci-BiTS 5.6. Oprogramowanie umożliwia prezentację materiału słownego testu HINT automatycznie losowo wybranych list zdaniowych o ściśle określonych i kontrolowanych programowo parametrach akustycznych. Badanie przeprowadzono w wykalibrowanych na sztucznym uchu słuchawkach audiometrycznych TDH39P w dodatkowych osłonach wyciszających – firmy Audiocaps. Do badań wykorzystano tak zwany moduł Adaptacyjnego Testu HINT. Umożliwia on prezentację materiału zdaniowego w obecności wykalibrowanego szumu maskującego o stałym poziomie 65 dB SPL. Poziom odtwarzanych zdań jest stopniowo zmniejszany ze skokiem 2-3 dB, co umożliwia odtwarzanie materiału słownego o ściśle kontrolowanym stosunku do sygnału zakłócającego szumu – tak zwanego stosunku sygnału do szumu (SN). Zadaniem osoby badanej jest powtórzyć usłyszany materiał słowny w zdaniu prezentowanym na tle słyszalnego szumu maskującego, co w sposób najbardziej zbliżony odtwarza rzeczywistą percepcję słuchową człowieka na tle szumu zakłócającego otoczenia (np. rozmowę z kilkoma osobami, czy podczas prowadzenia pojazdów mechanicznych). W przypadku prawidłowego powtórzenia przez osobę badaną prezentowanego materiału słownego, w sposób automatyczny zmniejszany jest poziom odtwarzanego materiału słownego, przez co osiąga on ujemne wartości w stosunku do prezentowanego szumu (ujemną wartość S/N) np. -10 dB, co oznacza, że zdanie jest prezentowane na poziomie 60 dB SPL w obecności szumu maskującego o poziomie 65 dB SPL (zdanie „tonie w szumie maskującym”). Miarą testu HINT jest stosunek sygnału zdań do szumu zakłócającego

(S/N), przy którym osoba badana jest w stanie powtórzyć prawidłowo 50% materiału słownego z danej odtwarzanej losowo 20-zdaniowej listy.

HINT wykonywany jest przy prezentacji sygnału mowy obuuszenie, w trzech różnych sytuacjach:

1. w obecności szumu maskującego z przodu (HINT_Front);
2. w obecności szumu maskującego podawanego do ucha prawego (HINT_Right);
3. w obecności szumu maskującego podawanego do ucha lewego (HINT_Left).

Wynik zbiorczy (HINT_wynik zbiorczy) obliczany jest wg wzoru:

$$[(2 \times \text{HINT_Front} + \text{HINT_L} + \text{HINT_R})]/4.$$

Analiza uzyskanych wyników testu HINT w poszczególnych sytuacjach akustycznych umożliwia ocenę wpływu zarówno obustronnego jak i jednostronnego lub/i asymetrycznego uszkodzenia słuchu na percepcję sygnału mowy w rzeczywistych sytuacjach akustycznych życia codziennego.

5. Badanie sprawności psychoruchowej w symulatorze



Fot. 1. Kabina symulatora autobusu AUTOSAN 1010T LIDER i widok na stanowisko operatora

Badania kierowców przeprowadzone zostały z wykorzystaniem wysokiej klasy symulatora badawczego, zbudowanego w ramach wcześniej realizowanego w Instytucie Medycyny Pracy projektu pt. „Zintegrowany system monitorowania stanu

psychofizycznego kierujących pojazdami w celu minimalizacji zagrożeń w ruchu drogowym” (POIG.01.03.01-10-085/09). Jest to urządzenie bardzo nowoczesne, odwzorowujące funkcjonowanie samochodu ciężarowego/ciągnika siodłowego i autobusu na przykładzie samochodu Mercedes Benz Actros lub autobusu AUTOSAN 1010T LIDER. Przy jego budowie wykorzystane zostały najnowsze osiągnięcia w dziedzinie technik i technologii informatycznych. Zarówno pod względem rozwiązań konstrukcyjnych, jak i zastosowanych technologii dorównuje on najnowszym światowym osiągnięciom w tej dziedzinie. Dodatkowo symulator został wyposażony w bardzo nowoczesne systemy rejestracji wszystkich istotnych parametrów psychofizjologicznych badanych kierowców.

Symulator badawczy umożliwia pełną symulację jazdy autobusem lub samochodem ciężarowym niemal w każdych warunkach terenowych, drogowych i atmosferycznych. Niezależnie od prowadzenia testów medycznych symulator umożliwia badanie i ocenę umiejętności praktycznych badanych kierowców, ich zachowania w sytuacjach nagłych i niebezpiecznych, odporność na stres i zmęczenie, działanie substancji psychoaktywnych itp.

W skład symulatora badawczego wchodzi następujące moduły:

- system wymiany kabiny kierowcy (autobusu i samochodu ciężarowego),
- stanowisko instruktora-operatora,
- układ wizualizacji sytuacji zewnętrznej,
- system ruchu,
- system informatyczny i zasilania,
- przestrzenny system dźwiękowy,
- system barierek ochronnych zabezpieczających przed dostępem do ruchomych części symulatora,
- stanowisko analizy i oceny realizowanego zadania.

Kabina kierowcy

Symulator jest wyposażony w dwie wzajemnie zamienne kabiny kierowcy: samochodu ciężarowego i autobusu. Każda z kabin symulatora jest repliką typowej kabiny współczesnego pojazdu (Mercedes Benz Actros i autobusu AUTOSAN 1010T LIDER). W zależności od potrzeb, kabiny te można wymiennie montować na stanowisku ruchowym symulatora.



Fot. 2. Kabina symulatora samochodu ciężarowego/ciągnika siodłowego Mercedes Benz Actros

Kabiny posiadają pełne wyposażenie obejmujące między innymi: regulowany fotel kierowcy i pasażera wraz z pasami bezpieczeństwa, kierownicę z symulacją momentu stabilizującego oraz ze stacyjką i wszystkimi dźwigniami (kierunkowskazy, retarder, świateł postojowych, mijania i drogowych), hamulec postojowy, pedały przyspieszenia, hamulca i sprzęgła oraz dźwignię manualnej zmiany biegów bądź konsolę do automatycznej zmiany przełożeń wraz z pełną symulacją obciążeń występujących na wymienionych organach sterowania. Ponadto, kabina jest wyposażona w komplet wskaźników, sygnalizatorów (wyświetlacz komputera pokładowego, obrotomierz, prędkościomierz, lampki sygnalizacyjne, przyciski i przełączniki, dźwigni i włączników, atrapę tachografu, radio samochodowe). W kabinie jest zainstalowana także kamera przeznaczona do stałej transmisji obrazu na stanowisko instruktora, a także system łączności radiowej.

Na zdjęciach widoczne jest wnętrze kabiny autobusu AUTOSAN 1010T LIDER wraz z kamerami systemu okulograficznego (*eye-tracking*), konsola automatycznej i manualnej skrzyni biegów, monitory imitujące lusterka boczne, zestawy wskaźników.



Fot. 3. Wnętrze kabiny symulatora autobusu AUTOSAN 1010T LIDER

W kabinie jest możliwość zainstalowania różnego typu urządzeń badawczych (w tym systemu *eye-tracking*). W kabinie zainstalowany jest wielokanałowy, cyfrowy system symulacji tła dźwiękowego, odwzorowujący wszelkie efekty słyszane przez kierowcę podczas jazdy w warunkach rzeczywistych, system symulacji obrazu widzianego w lusterkach wstecznych (wizualizacja na monitorach imitujących lusterka), system oświetlenia wnętrza stanowiska kierowcy, min. standardowe podświetlenie przyrządów i manipulatorów.

Kabina jest zamontowana na ruchomej platformie o sześciu stopniach swobody (fot. 4). Zadaniem platformy jest symulowanie ruchów odczuwalnych przez kierowcę podczas jazdy w warunkach rzeczywistych.



Fot. 4. Ruchoma platforma o sześciu stopniach swobody

Stanowisko instruktora

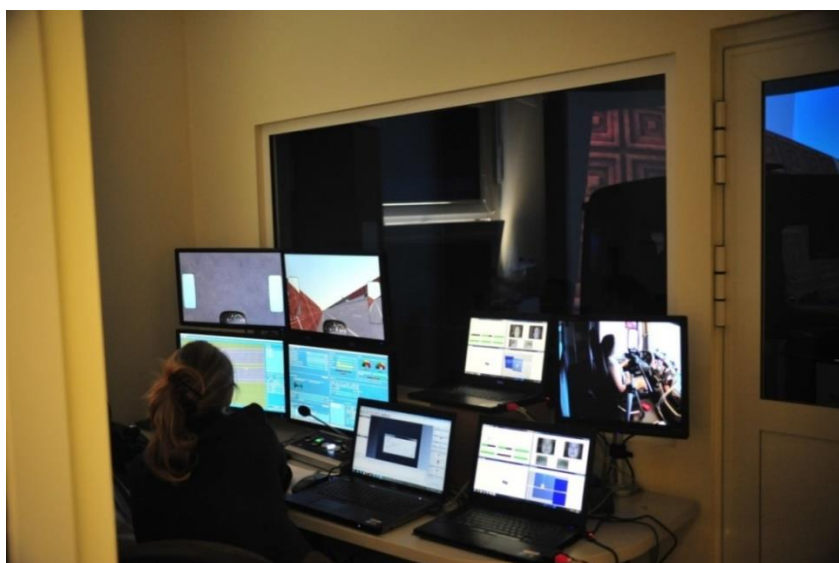
Stanowisko jest przeznaczone do:

- sterowania pracą symulatora,
- przygotowania scenariuszy ćwiczeń,
- monitorowania przebiegu ćwiczenia, w tym także bieżącego korygowania scenariusza,
- utrzymywania stałej łączności z badanym kierowcą,
- rejestrowania i archiwizowania przebiegu ćwiczenia.

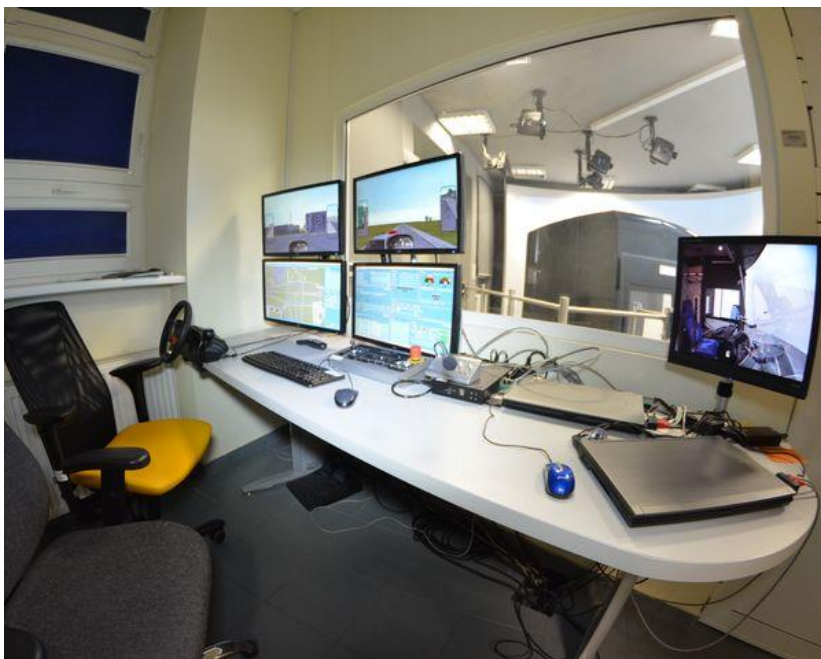
Zainstalowane na stanowisku instruktora monitory prezentują w czasie rzeczywistym między innymi:

- obraz widziany z kabiny kierowcy,
- mapę sytuacyjną rejonu prowadzonych ćwiczeń,
- interfejs składający się z pojedynczych modułów funkcjonalnych (tzw. widżetów), które służą do sterowania symulatorem,
- obraz rejestrowany przez kamerę w kabinie kierowcy,
- odwzorowanie aktualnych wskazań przyrządów i położenia organów sterowania w kabinie kierowcy,
- stanowisko do sterowania samochodem instruktora (kierownica, pedały),
- system łączności radiowej między instruktorem a kierowcą.

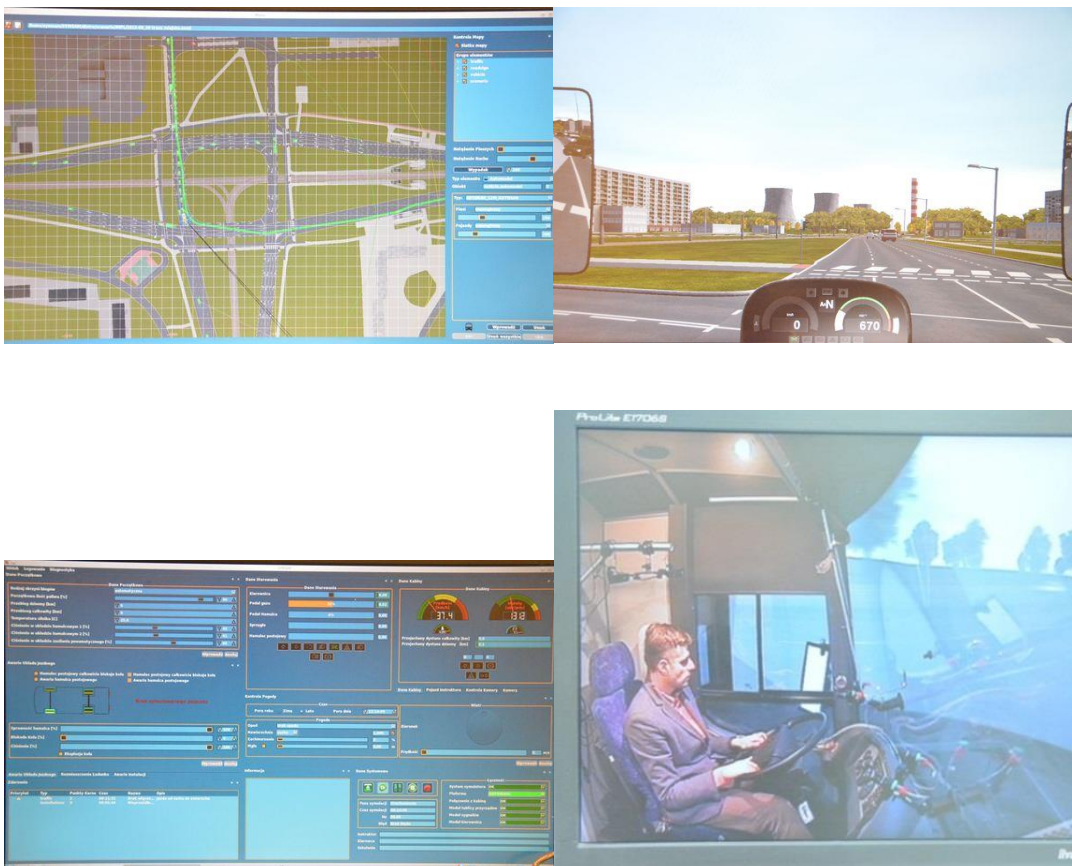
Na zdjęciach widoczne są: stanowisko instruktora, ekrany z mapą, ekrany z modułami funkcjonalnymi (widżetami), kierownica do sterowania samochodem instruktora, obraz rejestrowany z kabiny kierowcy.



Fot. 5. Stanowisko pracy instruktora



Fot. 6. Stanowisko pracy instruktora z widoczną kierownicą do kontroli samochodu instruktora



Fot. 7. Obrazy wyświetlane na monitorach instruktora podczas jazdy symulowanej oraz obraz z kamery wewnątrz kabiny

Oprogramowanie symulatora stwarza instruktorowi możliwość kreowania różnorodnych scenariuszy programów badawczych o zróżnicowanym stopniu trudności. Umożliwia to dostosowanie poziomu poszczególnych ćwiczeń do przedmiotu i zakresu prowadzonych badań.

Przygotowanie scenariusza ćwiczenia obejmuje wybór:

- typu pojazdu i jego konfiguracji,
- wielkości, rodzaju i miejsce rozmieszczenia przewożonego ładunku,
- rejonu jazdy (rodzaj terenu: górski, nizinny, zabudowany, niezabudowany, rodzaj drogi),
- pory roku i pory dnia,
- warunków pogodowych (opady, widzialność, temperatura, kierunek i prędkość wiatru),
- rodzaju i natężenia ruchu drogowego.



Fot. 8. Mapa symulowanej trasy wraz z natężeniem ruchu samochodowego

Podczas monitorowania przebiegu ćwiczenia instruktor ma możliwość wprowadzania zmian w przygotowanym wcześniej scenariuszu, m.in.: zmianę warunków pogodowych, stanu nawierzchni jezdni, a także natężenia ruchu. Instruktor może także inscenizować zaskakujące zachowania innych uczestników ruchu drogowego, które stwarzają zagrożenie dla kierującego symulowanym pojazdem i wymagają od niego pełnego skupienia i natychmiastowej reakcji. Instruktor ma możliwość zatrzymania prowadzonego ćwiczenia w dowolnym momencie, a następnie jego kontynuowania lub ponownego

rozpoczęcia. Instruktor może wprowadzić różne stany awaryjne podczas symulowanej jazdy takie jak:

- awaria hamulców z różnym stanem natężania,
- przemieszczanie i wielkość ładunku względem tylnej osi,
- wyłączenie systemów wspomagających jazdę np. ABS,
- spadek mocy silnika,
- spadek poziomu paliwa,
- awarie ogumienia dowolnej ilości i konfiguracji kół.

System wizualizacji

W symulatorze zastosowany jest nowoczesny system wizualizacji z układem prezentacji obrazu wyposażonym w ekran o polu widzenia co najmniej 180 stopni w poziomie i 40 stopni w pionie oraz w wysokiej klasy projektory. Minimalna rozdzielczość obrazu to 1024 x 768 pikseli na pojedynczy kanał graficzny. Rozdzielczość kątowna wynosi co najmniej 4 minuty kątowe na jeden piksel. Układ wizualizacji zapewnia optymalne parametry jasności, kontrastu, poziomu czerni oraz dynamiki wyświetlania (wygaszania) obrazu dla planowanych zastosowań.



Fot. 9. Projektory wyświetlające obraz wizualizacji

System wizualizacji symulatora generuje i wyświetla bardzo realistyczny obraz widziany z kabiny symulowanego pojazdu. Umożliwia to badanemu kierowcy obserwację drogi i jej otoczenia na poziomie bardzo zbliżonym do warunków

rzeczywistych. Dodatkowo, generowany jest także obraz widziany w monitorach, które imitują lusterka wsteczne.

Jednym z bardzo istotnych elementów symulatora badawczego jest moduł oprogramowania środowiska wirtualnego. Jest on bowiem odpowiedzialny za stworzenie wysokiego poczucia realizmu podczas symulowanej jazdy.

Podstawowymi elementami środowiska wirtualnego są:

- oprogramowanie wizualizacji,
- trójwymiarowa baza danych terenu, w którym będzie się poruszał symulowany pojazd (zróżnicowane ukształtowanie terenu wraz z pokryciem naturalnym i infrastrukturą),
- pełna infrastruktura drogowa (różne rodzaje dróg i nawierzchni, mosty, wiadukty, tunele, przejazdy kolejowe itp.),
- pora roku i pora doby,
- warunki pogodowe,
- trójwymiarowe obiekty ruchome (inne pojazdy, w tym pojazdy szynowe oraz piesi)
- aktywne systemy sterowania ruchem.

Na zdjęciach przedstawione są przykładowe wizualizacje tras w różnym terenie, warunkach pogodowych, porach roku, porach doby.



Fot. 10. Kamery systemu FaceLab oraz wizualizacja górzystego terenu



Fot. 11. Wizualizacja deszczu oraz ruch wycieraczek dodatkowo podnoszący realizm symulowanego środowiska



Fot.12. Wizualizacja mgły w terenie miejskim



Fot. 13. Wizualizacja warunków zimowych z opcjonalnie wprowadzoną śliską nawierzchnią (gołoledź)



Fot. 14. Wizualizacja warunków nocnych na trasie miejskiej



Fot.15. Wizualizacja warunków nocnych na trasie pozamiejskiej

Oprogramowanie symulatora wiernie odwzorowuje dynamikę ruchu symulowanego pojazdu, rodzaju i wielkości przewożonego ładunku, rodzaju i stanu nawierzchni jezdni oraz stanu ogumienia. Odwzorowane są także charakterystyki pracy zespołu napędowego, układu zawieszenia, poszczególnych instalacji i systemów symulowanego pojazdu oraz ich awarie, a także charakterystyki zużycia paliwa.

Badania okulograficzne

Podczas testu na symulatorze prowadzona była jednocześnie rejestracja ścieżek wzrokowych z zastosowaniem aparatury Facelab i programu Eye-works (Recordm Analize).

Równoległe z analizą techniki jazdy obserwacji podlegała strategia wzrokowa badanego kierowcy według metodyki opisanej przez Raynera (1998) i zaadaptowanej przez autorów do warunków badań na symulatorze. Do sprzętu, którym posługiwano

się podczas badania w symulowanych warunkach jazdy możemy zaliczyć sam symulator z oprogramowaniem jak i zaawansowane programy komputerowe, kamery i komputery. Do głównych narzędzi służących do pozyskania i obróbki danych podczas jazdy i zachowania w ruchu miejskim i pozamiejskim oraz analizy okulograficznej kierowców były: Symulator jazdy, FaceLab, Eye Works (Record, Analyze) oraz Captive.

Programy służące do analizy okulograficznej i przetwarzania danych wymagały przeprowadzenia kalibracji przed każdą jazdą. W procesie kalibracji uczestniczyły poszczególne elementy systemu okulograficznego składającego się z zestawu kamer rejestrujących ruch gałek ocznych kierowcy (fot. 16), źródła podczerwieni oraz dwóch kamer sceny (fot. 17), oraz programów komputerowych: FaceLab, Eye Works (Record, Analyze), Captive oraz oprogramowanie symulatora jazdy.



Fot. 16. Zestaw kamer rejestrujących ruch gałek ocznych



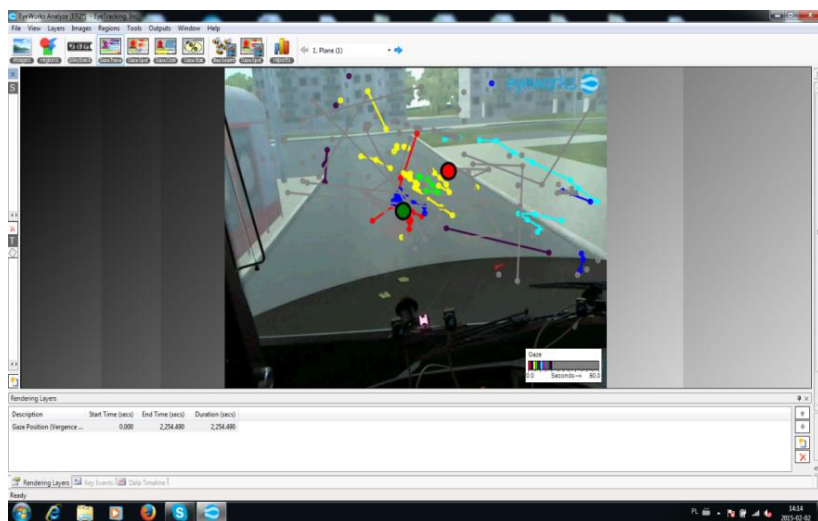
Fot. 17. Zestaw kamer scenicznych i kamer systemu FaceLab

Dzięki zastosowaniu układu podwójnych kamer, pole detekcji wzroku kierowcy wynosiło około 120 stopni. Procedura kalibracji miała na celu dostosowanie aparatury badawczej do cech osobniczych kierowcy, aby uzyskane wyniki dla poszczególnego kierowcy na konkretnej trasie jak najwierniej odpowiadały realnym sygnałom płynącym od kierowcy do aparatury.

Ruchy gałek ocznych na pliku video przedstawione są jako linie. Linie te reprezentują sakady. Sakady są to gwałtowne ruchy o prędkości dochodzącej do 500° a nawet 800° na sekundę. Ich amplituda nie przekracza 8° , a czas trwania wynosi od 20 do 200 ms w zależności od amplitudy. Ich latencja – czas od pojawienia się celu w polu widzenia do rozpoczęcia ruchu, waha się w granicach 100-300 ms. Zależy ona głównie od jakości procesu poznawczego, zwiększając się wraz z kompleksowością tego procesu. Latencja zwiększa się również, kiedy funkcjonalne pole widzenia rozszerza się na strefy peryferyjne, lub kiedy wymagana jest duża precyzja w lokalizacji celu. (Rayner 1998, Ross i wsp., 1996).

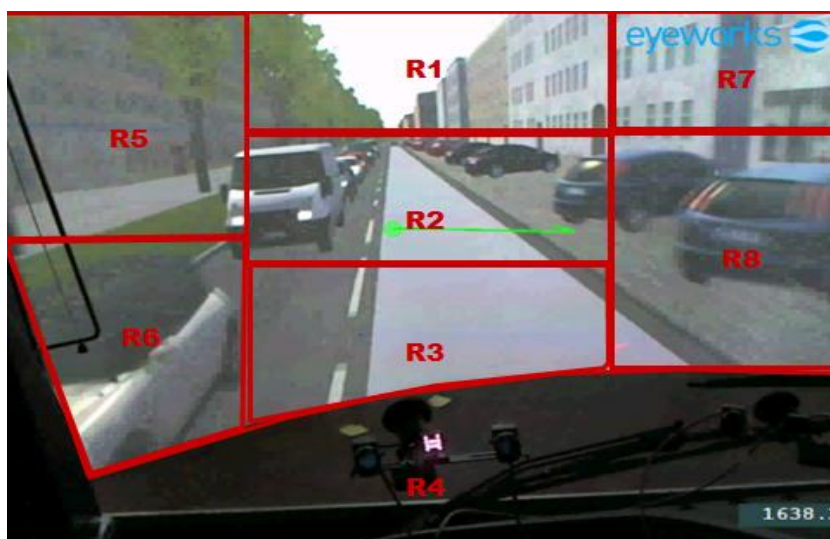
Oprócz linii występują jeszcze punkty. Punkty te są animacją fiksacji. Pomiędzy dwiema sakadami oczy zatrzymują się na obiekcie oglądanym na około 200-600 ms, które to zatrzymania nazwane są fiksacjami. Ich czas trwania zależy przede wszystkim od intensywności kontrastu luminancji, od złożoności strefy widzenia i od obciążenia poznawczego. W zależności od wykonywanego zadania fiksacje te mają różną charakterystykę (Kito i wsp., 1989).

Droga wzroku kierowcy podczas jazdy symulatorem, na którą składały się sakady oraz fiksacje, była przetwarzana przez programy Captive lub Eye Works Analyze (fot. 18).



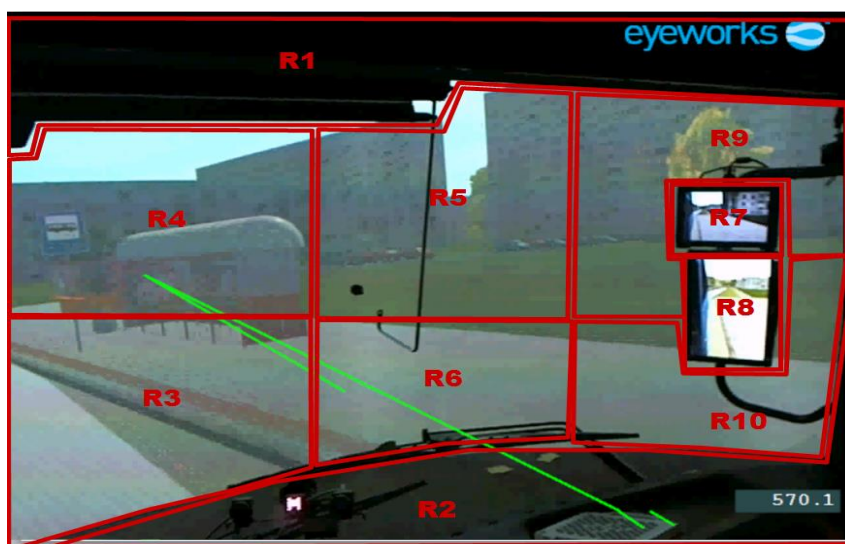
Fot. 18. Widoczne sakady i fiksacje w ciągu pierwszych 60 sekund pomiaru

Obraz z kamery nr 1 został podzielony na osiem regionów.



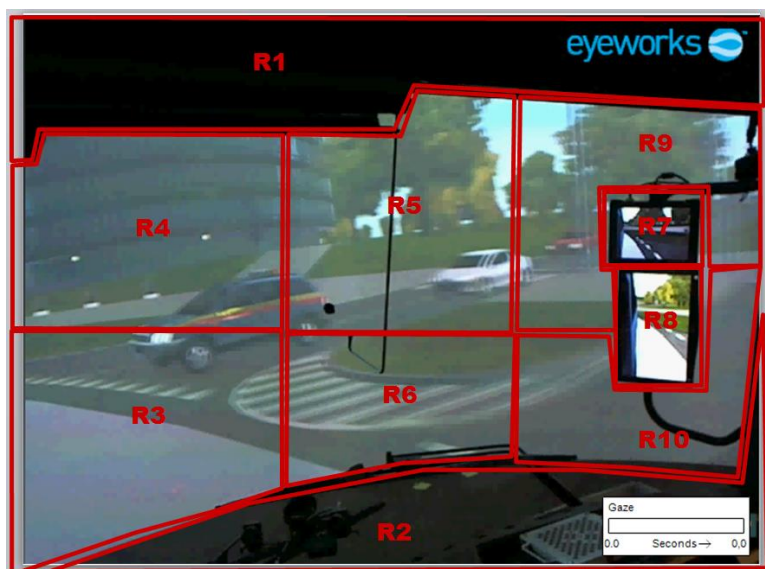
Fot. 19. Obraz z kamery nr 1

Natomiast obraz z kamery 2 na dziesięć (fot. 19; fot. 20). Wyznaczenie poszczególnych części na obrazie miało na celu bardziej dokładne i rzetelne przedstawienie procentowego udziału poszczególnych regionów, na których był skupiony wzrok kierowcy. Wszystkie te zabiegi spowodowały lepszą ocenę strategii wzrokowej na podstawie analizy procentowego udziału fiksacji w danym regionie pola widzenia. Do szczególnie istotnych miejsc należały okolice drogi – spojrzenie na wprost, sekcje boczne, okolice tablicy rozdzielczej i regiony przypisane lusterkom bocznym.



Fot. 20. Obraz z kamery nr 2

Pod koniec jazdy zasymulowana zostaje sytuacja kolizyjna, która wyglądała następująco: prowadzony przez badanego kierowcę, wjeżdża na rondo, na którym znajduje się skrzyżowanie z drogą podporządkowaną. Z drogi tej wyjeżdża samochód wymuszając pierwszeństwo przejazdu, kiedy autobus znajduje się o kilka metrów przed skrzyżowaniem. Strategia wzrokowa kierowców jest analizowana przez okres około 20 sekund poprzedzających ewentualną kolizję.



Fot. 21. Obraz sytuacji potencjalnie kolizyjnej z uwzględnieniem podziału na 10 regionów, trasa miejska, plan 2

Face Lab

Do analizy strategii wzrokowej wykorzystano dwa bezinwazyjne systemy FaceLab. Każdy z nich składa się z kamery scenicznej umieszczonej za siedzeniem, filmującej obraz widziany przez kierowcę oraz z pary kamer, umieszczonych między przednią szybą a kierownicą, skierowanych na twarz kierowcy. Zadaniem tych kamer jest rejestracja mimiki twarzy prowadzącego pojazd oraz zachowania jego gałek ocznych (mruganie, średnica źrenic, czas i kierunek fiksacji). Zastosowanie dwóch systemów pozwala na rejestrację wzroku kierowcy zarówno podczas prowadzenia autobusu jak i podczas postoju, kiedy kierowca zwraca szczególną uwagę na pasażerów wsiadających do autobusu, spoglądając w boczne lusterko.

Captive

Program Captive jest programem umożliwiającym pełną synchronizację danych pochodzących z różnych urządzeń pomiarowych, w które zaopatrzony był kierowca

podczas jazdy. Oprócz parametrów pochodzących z symulatora (takich jak hamowanie, przyspieszenia, ruch kierownicą) możliwa jest też analiza danych pochodzących z aparatów rejestrujących parametry charakteryzujące układ krążenia. Synchronizacja wszystkich danych pozwala na dokładne określenie stanu, w jakim kierowca znajdował się w zadanym przez prowadzącego ćwiczenie momencie (sytuacja stresowa). Oprogramowanie pozwala też min. na analizę strategii jazdy poprzez określenie częstości i gwałtowności hamowań oraz czasu reakcji na nieoczekiwane zdarzenie.

Oceniane parametry

Zadaniem każdego z kierowców było przejechanie trasy miejskiej i trasy podmiejskiej w sposób jak najbardziej zbliżony do jazdy w warunkach rzeczywistych. Trasy różniły się między sobą pod względem trudności wynikającej z szerokości ulic, częstości występowania zakrętów, różnej liczby czynników rozpraszających uwagę (infrastruktura, ograniczenia prędkości) oraz długości trasy. Podobne były natomiast pod względem liczby przystanków i natężenia ruchu. Pod koniec każdego przejazdu generowana była sytuacja stresogenna, polegająca na nagłym wyjechaniu z drogi podporządkowanej pojazdu wymuszającego pierwszeństwo.

Dla celów niniejszego projektu do analizy statystycznej wybrano następujące siedem parametrów oceny sprawności psychoruchowej (v1-v7) (tab. II).

Tabela II. Parametry sprawności psychoruchowej /strategii jazdy/ oceniane podczas jazdy na symulatorze

Symulator jazdy autobusem pracuje z częstotliwością 60 Hz. 1 klatka odpowiada 1/60 sekundy	
Czas [sek]	Czas trwania jazdy [sek]
Liczba klatek z odchyleniem kierownicy od pozycji 0	Sumaryczny czas położenia kierownicy w pozycji innej niż 0, liczony podczas całej jazdy symulatorem, wyrażony w Hz.
Największa liczba klatek, gdy kierownica była w pozycji 0	Najdłuższy czas położenia kierownicy w pozycji 0, mierzony podczas jazdy symulatorem, wyrażony w Hz.
Najdłuższy czas, gdy kierownica była w pozycji 0	Najdłuższy czas położenia kierownicy w pozycji 0, mierzony podczas jazdy symulatorem, wyrażony w sekundach.

Liczba klatek naciśnięć pedałów	Sumaryczny czas naciśnięć pedałów hamulca lub gazu podczas całej jazdy symulatorem, wyrażony w Hz, mierzony poprzez położenie pedałów w pozycji innej niż neutralna.
Największa liczba klatek bez naciskania pedałów	Najdłuższy czas podczas całej jazdy symulatorem, wyrażony w Hz, mierzony poprzez położenie pedałów hamulca i gazu w pozycji neutralnej.
Ogólny czas bez naciskania pedałów [sek]	Najdłuższy czas podczas całej jazdy symulatorem, wyrażony w sekundach, mierzony poprzez położenie pedałów hamulca i gazu w pozycji neutralnej.

6. Analiza statystyczna

Podczas analizy danych zastosowano metody statystyczne:

- jednoczynnikową jednozmienną analizę wariancji dla porównywania średnich parametrów „psychoruchowych” w grupach ubytku słuchu i prawidłowych vs. nieprawidłowych wartości HINT, wraz z testami porównań wielokrotnych (Winer i wsp., 1991);
- dwuczynnikową analizę kowariancji z powtarzaniem obserwacji na jednym czynniku, z wiekiem jako zmienną kowariancyjną, uzupełnioną testami porównań wielokrotnych dla efektów głównych i oceną efektów prostych (Winer i wsp., 1991);
- model regresji logistycznej dla określenia czynników ryzyka kolizji (Hilbe, 2009);
- model regresji liniowej dla oceny zależności między parametrami „psychoruchowymi” a zmiennymi charakteryzującymi wielkość ubytku słuchu (Draper i Smith, 1998).

V. WYNIKI

1. Badania kwestionariuszowe

Wyniki badań kwestionariuszowych, ukierunkowanych na zebranie danych dotyczących ogólnego stanu zdrowia, nadwagi oraz chorób układu krążenia przedstawiono w tabeli III. Liczba osób ogółem wynosiła 64. Jedna z osób badanych nie przeszła testów na symulatorze, stąd została wyeliminowana z dalszej analizy. Największym problemem zdrowotnym w badanej grupie była otyłość, która

występowała u 34% osób. Na nadciśnienie tętnicze chorował co trzeci badany, co trzeci badany zgłaszał również palenie papierosów.

Tabela III. Wyniki badań kwestionariuszowych

Lp.	Choroba /nawyki	Tak Liczba (%)	Nie Liczba (%)
1	Otyłość*	22 (34,4)	42 (65,6)
2	Nadciśnienie tętnicze	21 (32,8)	43 (67,2)
3	Choroba wieńcowa	5 (7,8)	59 (92,2)
4	Zawał serca	2 (3,1)	62 (96,9)
5	Udar mózgu	2 (3,1)	62 (96,9)
6	Cukrzyca	2 (3,1)	62 (96,9)
7	Zapalenie stawów	1 (1,6)	63 (98,4)
8	Choroba nowotworowa	2 (3,1)	62 (96,9)
9	Choroba alergiczna	8 (12,5)	56 (87,5)
10	Choroby tarczycy	3 (4,7)	61 (95,3)
11	Palenie papierosów w przeszłości	15 (23,4)	49 (76,6)
12	Palenie papierosów obecnie	22 (34,4)	42 (65,6)

* Oznaczono na podstawie wskaźnika masy ciała (ang. *body mass index*) BMI $\geq$ 30

W grupie 63 badanych osób w kwestionariuszu AIADH w poszczególnych częściach oceny subiektywnych problemów percepcji słuchowej średnie wyniki wynosiły odpowiednio: 84,3% wartości maksymalnej w grupie dyskryminacji dźwięków; 82% wartości maksymalnej w grupie lokalizacji słuchowej; 70,6% wartości maksymalnej w grupie rozumienia mowy w hałasie 82,4% wartości maksymalnej w grupie rozumienia mowy w ciszy; oraz 78,6% wartości maksymalnej w grupie wykrywania dźwięków (tab. IV). Średnie wyniki w kwestionariuszu AIADH uzyskane w poszczególnych częściach oceny plasowały się poniżej wartości referencyjnej 90%.

Tabela IV. Średnie wyniki uzyskane w kwestionariuszu AIADH – oceny codziennych zaburzeń percepcji słuchowej

Poszczególne aspekty (części) zaburzeń codziennego słyszenia ocenione w kwestionariuszu AIADH	Łączna liczba uzyskanych punktów	Min	Max	Procent maksymalnej liczby punktów w danej części kwestionariusza
dyskryminacja dźwięku	20,22±3,18	12	24	84,26%
lokalizacja słuchowa	12,30±2,52	6	15	82,01%
rozumienie mowy w hałasie	10,59±2,95	4	15	70,58%
rozumienie mowy w ciszy	12,37±2,55	5	15	82,43%
wykrywanie dźwięku	11,79±2,78	5	15	78,62%

Wyniki w zakresie normy uzyskało odpowiednio: 36 osób w części oceniającej dyskryminację dźwięków; 27 osoby w części dotyczącej lokalizacji słuchowej; 8 osób w części dotyczącej rozumienia mowy w hałasie; 28 w części dotyczącej rozumienia mowy w ciszy i 20 osób w części dotyczącej wykrywania dźwięków. W ocenie kwestionariuszowej w grupie badanych osób najwięcej problemów w subiektywnej ocenie słyszenia w codziennych sytuacjach akustycznych sprawiało rozumienie mowy w hałasie oraz wykrywanie dźwięków, a najmniejszy problem stanowiła dyskryminacja dźwięków oraz rozumienie mowy w ciszy.

2. Badanie szeptem

W całej grupie 63 badanych osób średnie rozumienie szeptu w uszach prawych wynosiło odpowiednio 5,44±1,37 m dla słów niskoczęstotliwościowych oraz 5,06±1,75 m dla słów wysokoczęstotliwościowych.

W uszach lewych rozumienie szeptu wynosiło odpowiednio 5,52±1,23 m (w zakresie słów niskoczęstotliwościowych) oraz 5,28±1,53 m w zakresie słów wysokoczęstotliwościowych (tab. V).

Tabela V. Średnie wyniki rozumienia szeptu w metrach w badanej grupie (n=63)

Rozumienie w metrach	Uszy prawe		Uszy lewe	
	Słowa nisko-częstotliwościowe	Słowa wysoko-częstotliwościowe	Słowa nisko-częstotliwościowe	Słowa wysoko-częstotliwościowe
Średnia	5,44±1,37	5,06±1,75	5,52±1,23	5,28±1,53
Min.	0,5	0	0,5	0
Maks.	6	6	6	6

3. Audiometria tonalna

Średnie progi słuchu wyznaczone w audiometrii tonalnej w całej grupie 63 badanych przedstawione są w tabeli VI, a ich rozkład na rycinie 1.

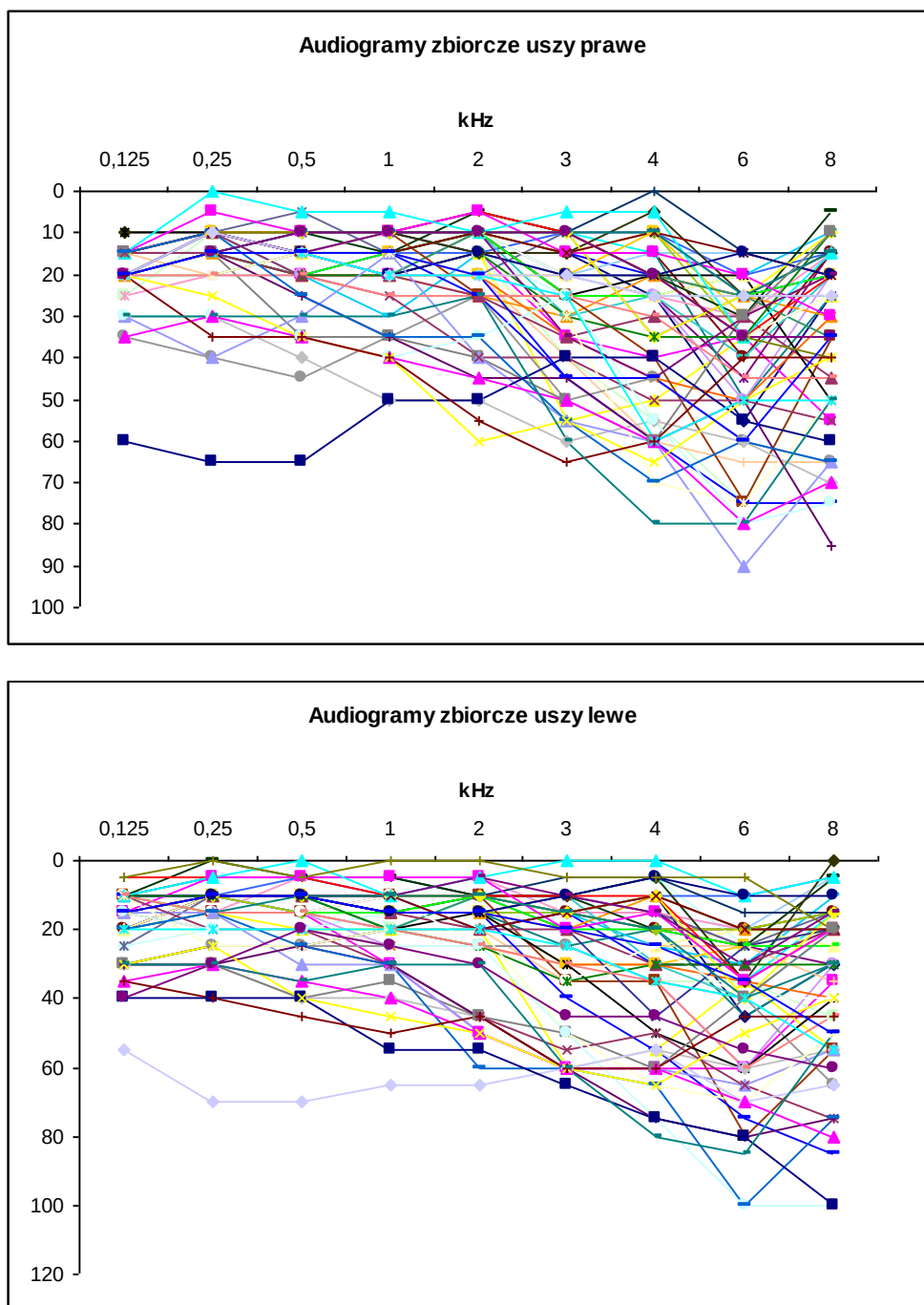
Tabela VI. Średnie progi słuchu (dB HL) dla przewodnictwa powietrznego w badanej (n=63) w uszach prawych i lewych

Częstotliwość kHz	Uszy prawe /dB HL/	Uszy lewe /dB HL/
0,125	19,44±7,42	17,82±9,78
0,25	16,03±10,01	15,79±11,12
0,5	18,65±10,36	17,06±12,27
1	19,44±10,48	19,76±12,33
2	19,92±13,21	21,90±15,57
3	27,78±15,83	29,05±19,26
4	33,17±19,82	32,30±21,94
6	40,48±19,69	41,27 ±22,63
8	33,1±20,17	35,32±23,98

Średnia głębokość uszkodzenia słuchu (wyliczona jako średnia arytmetyczna dla częstotliwości 0,5; 1; 2; 4 kHz) stanowiąca kryterium oceny stopnia uszkodzenia słuchu wg zaleceń WHO wynosiła odpowiednio: 22,79±11,83 dB w uszach prawych oraz odpowiednio 22,75±14,29 dB w uszach lewych.

Charakterystyka audiogramów u poszczególnych osób przedstawiona jest na rycinie 1. Ich analiza wskazuje, że największe uszkodzenia słuchu dotyczyły częstotliwości wysokich (powyżej 2 kHz), które słabo reprezentowane są w klasyfikacji wg WHO. Stąd w analizie akustycznej, oprócz średnich progów wg WHO (0,5, 1, 2 i 4 kHz)

uwzględnione zostały średnie progi w częstotliwościach wysokich (3, 4, 6 i 8 kHz). Dla żadnej z osób nie stwierdzono wyraźnej asymetrii słyszenia w uchu prawym i lewym.



Ryc. 1. Rozkłady audiogramów poszczególnych osób w uchu prawym i lewym.

4. Badanie (test) rozumienia mowy w hałasie (HINT)

Średnie wyniki testu HINT, uzyskane dla 63 badanych przedstawione są w tabeli VII. Im bardziej ujemna jest wartość testu, tym lepszy jest wynik testu. Najlepsze wyniki

uzyskiwano, gdy sygnał mowy nadawany był z przodu, a szum do ucha prawego lub lewego, najgorsze, gdy sygnał i szum dochodziły z tego samego kierunku (z przodu). Wyniki HINT zbiorczy wykorzystane zostały dla celów analizy statystycznej. Dla żadnej z badanych osób nie stwierdzono asymetrii w wynikach badań HINT między uchem prawym i lewym.

Tabela VII. Średnie wyniki testu HINT (stosunek sygnału do szumu maskującego S/N, przy którym badani osiągnęli 50% rozumienie materiału słownego testów zdaniowych)

Rodzaj prezentacji	Stosunek S/N /dB/, przy którym osoba badana rozumie 50% materiału słownego HINT	Min	Max
HINT - przód	-6,63 ± 1,60	-10,4	-0,1
HINT - prawe	-14,17 ± 3,94	-19,5	-3,2
HINT - Lewe	-14,63 ± 3,53	-20,4	-4,4
HINT - Zbiorczy	-10,52 ± 2,41	-13,95	-3,03

5. Wyniki badania sprawności psychoruchowej podczas jazdy na symulatorze

Średnie zbiorcze wyniki uzyskane w całej grupie badanych dla poszczególnych ocenianych parametrów sprawności psychoruchowej ocenionych podczas jazdy na symulatorze przedstawiono w tabeli VIII.

Tabela VIII. Średnie wyniki dotyczące ocenianych parametrów sprawności psychoruchowej w badanej grupie (n=63)

Oceniany parametr sprawności psychoruchowej	Średnia	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Minimum	Maksimum
czas trwania jazdy [sek] (v1)	1 899,56	543,71	71,39	677,83	2 699,50
liczba klatek z odchyleniem kierownicy od pozycji 0 (v2)	73 546,12	22 815,78	2 970,36	25 105,00	118 869,00
największa liczba klatek, gdy kierownica była w pozycji 0 (v3)	2 778,90	1 180,24	153,65	273,00	7 066,00
najdłuższy czas, gdy kierownica była w pozycji 0 (v4)	46,32	19,67	2,56	4,55	117,77
liczba klatek naciśnięć pedałów (v5)	88 313,37	28 233,84	3 675,73	20 430,00	128 047,00
największa liczba klatek bez naciskania pedałów (v6)	1 814,49	1 280,11	166,66	366,00	5 826,00
ogólny czas bez naciskania pedałów [sek] 9v7)	17,61	12,36	1,61	6,10	70,43

Strategia wzrokowa oceniana była na podstawie analizy procentowego udziału fiksacji w danym regionie pola widzenia (obrazy rozmieszczenia regionów, na podstawie zapisu jednego kierowcy przedstawiono na fot. 19-21 w części „Metody”).

Średni procentowy udział fiksacji w regionach kształtował się następująco:

Dla kamery scenicznej nr 1 i nr 2:

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5	Region 6	Region 7 (lusterk o góra)	Region 8 (lusterk o dół)	Region 9	Region 10
Kamera 1 (średnia)	8,58	33,29	8,95	0,41	1,21	0,7	0,99	0,89		
Kamera 2 (średnia)	0,25	0,14	0,36	1,39	2,34	0,4	0,04	0,03	0,46	0,14
Kamera 1/ (odchylenie standardowe)	15,22	18,3	14,28	0,71	1,66	0,65	1,57	1,52		
(Kamera 2/ odchylenie standardowe)	0,34	0,15	0,55	1,74	2,37	0,45	0,12	0,06	0,84	0,26

5. Analiza zależności między stopniem uszkodzenia słuchu w audiometrii tonalnej a parametrami sprawności psychoruchowej

Tabele IX, X, XI i XII przedstawiają zależności między stopniem uszkodzenia słuchu w audiometrii tonalnej a parametrami sprawności psychoruchowej. Stopnie uszkodzenia słuchu oceniane były w audiometrii tonalnej jako średnia dla częstotliwości 3, 4, 6 i 8 kHz i średnia dla częstotliwości 0,5, 1, 2 i 4 kHz, oddzielnie dla ucha prawego i lewego (ANCOVA). Granice stopnia niedosłuchu były następujące: „0” – próg słuchu do 20 dB; „1” – próg słuchu 20-40 dB; „2” – próg słuchu ponad 40 dB.

Niezależnie od zastosowanego kryterium audiometrycznego, czy też ocenianego ucha, wykazano istotną zależność między wynikiem badania słuchu a parametrem v6 tj. „maksymalną liczbą klatek bez naciskania hamulca lub gazu”. W grupie osób z uszkodzeniem słuchu 2^o maksymalna liczba klatek bez naciskania hamulca była istotnie większa niż w grupie osób bez niedosłuchu. Parametr - max liczba klatek bez naciskania hamulca lub gazu opisuje najdłuższy na całej trasie odcinek jazdy bez naciskania pedału gazu lub hamulca. Interpretacja znaczenia tego parametru jest trudna, gdyż badania techniki jazdy z wykorzystaniem symulatora są nowatorskie i nie

ma danych referencyjnych. Natomiast z wcześniejszych badań autorów (dotychczas jeszcze niepublikowanych) wynika, że parametr ten świadczy pośrednio o technice jazdy, im większa wartość tego parametru-tym bardziej płynna i spokojniejsza jazda. Jednak potrzebne są dalsze badania aby precyzyjnie określić wartość tego parametru.

Tabela IX. Ocena zależności między stopniem uszkodzenia słuchu obliczonym jako średnia dla częstotliwości 3, 4, 6 i 8 kHz a wynikami parametrów sprawności psychoruchowej. Ucho prawe.

Zmienna „psycho ...”	Głębokość ubytku słuchu	Średnia	Odch. Stand.	p w teście porównywania trzech średnich
v1. czas w sek	„0” do 20 dB	1928	490	0,242
	„1” (20; 40] dB	2013	547	
	„2” ponad 40 dB	1727	573	
v2. liczba wahań kierownicą	„0” do 20 dB	68 821	21 871	0,475
	„1” (20; 40] dB	77 712	24 033	
	„2” ponad 40 dB	72 731	22 411	
v3. największa liczba klatek bez wahania kierownicą	„0” do 20 dB	2873	1409	0,776
	„1” (20; 40] dB	2842	768	
	„2” ponad 40 dB	2619	1401	
v4. najdłuższy czas bez wahania kierownicą (sek)	„0” do 20 dB	47,9	23,5	0,76
	„1” (20; 40] dB	47,4	12,8	
	„2” ponad 40 dB	43,6	23,3	
v5. liczba naciśnieć pedału hamulca lub gazu	„0” do 20 dB	89 120	27 504	0,631
	„1” (20; 40] dB	91 801	29 598	
	„2” ponad 40 dB	83 370	27 991	
v6. max liczba klatek bez naciskania hamulca lub gazu*	„0” do 20 dB	1212	742	0,002
	„1” (20; 40] dB	1723	1442	
	„2” ponad 40 dB	2465	1204	
v7. ogólny czas bez naciskania na hamulec lub gaz (sek)	„0” do 20 dB	20,20	12,37	0,099
	„1” (20; 40] dB	19,73	15,34	
	„2” ponad 40 dB	12,73	5,63	

*różnią się między sobą tylko pogrubione średnie

Tabela X. Ocena zależności między stopniem uszkodzenia słuchu obliczonym jako średnia dla częstotliwości 3, 4, 6 i 8 kHz a parametrami sprawności psychoruchowej. Ucho lewe.

Zmienna „psycho ...”	Głębokość ubytku słuchu	Średnia	Odch. Stand.	p w teście porównywania trzech średnich
v1. czas w sek	„0” do 20 dB	1927	548	0,160
	„1” (20; 40] dB	2056	533	
	„2” ponad 40 dB	1725	526	
v2. liczba wahań kierownicą	„0” do 20 dB	68 380	21 637	0,324
	„1” (20; 40] dB	79 324	22 669	
	„2” ponad 40 dB	72 676	23 855	
v3. największa liczba klatek bez wahania kierownicą	„0” do 20 dB	3174	1317	0,201
	„1” (20; 40] dB	2569	549	
	„2” ponad 40 dB	2614	1441	
v4. najdłuższy czas bez wahania kierownicą (sek)	„0” do 20 dB	52,90	21,95	0,204
	„1” (20; 40] dB	42,81	9,14	
	„2” ponad 40 dB	43,56	24,02	
v5. liczba naciśnieć pedału hamulca lub gazu	„0” do 20 dB	86 440	27 019	0,663
	„1” (20; 40] dB	92 994	32 368	
	„2” ponad 40 dB	85 412	25 665	
v6. max liczba klatek bez naciskania hamulca lub gazu*	„0” do 20 dB	1379	1006	< 0,0005
	„1” (20; 40] dB	1284	983	
	„2” ponad 40 dB	2759	1286	
v7. ogólny czas bez naciskania na hamulec lub gaz (sek)	„0” do 20 dB	22,99	16,77	0,081
	„1” (20; 40] dB	16,34	11,08	
	„2” ponad 40 dB	13,77	5,55	

*pogrubiona średnia różni się od dwóch pozostałych, które nie różnią się między sobą

Tabela XI. Ocena zależności między stopniem uszkodzenia słuchu obliczonym jako średnia dla częstotliwości 0,5, 1, 2 i 4 kHz (WHO) a wynikami parametrów sprawności psychoruchowej. Ucho prawe.

Zmienna „psycho ...”	Głębokość ubytku słuchu	Średnia	Odch. Stand.	p w teście porównywania trzech średnich
v1. czas w sek	„0” do 20 dB	1960	555	0,261
	„1” (20; 40] dB	1929	533	
	„2” ponad 40 dB	1627	491	
v2. liczba wahań kierownicą	„0” do 20 dB	72 847	24 970	0,929
	„1” (20; 40] dB	75 361	18 684	
	„2” ponad 40 dB	72 683	23 917	
v3. największa liczba klatek bez wahanía kierownicą	„0” do 20 dB	2920	1150	0,590
	„1” (20; 40] dB	2688	606	
	„2” ponad 40 dB	2435	1961	
v4. najdłuższy czas bez wahanía kierownicą (sek)	„0” do 20 dB	48,66	19,17	0,646
	„1” (20; 40] dB	44,80	10,09	
	„2” ponad 40 dB	40,59	32,68	
v5. liczba naciśnień pedału hamulca lub gazu	„0” do 20 dB	89 117	30 574	0,726
	„1” (20; 40] dB	90 412	26 255	
	„2” ponad 40 dB	81 404	24 409	
v6. max liczba klatek bez naciskania hamulca lub gazu*	„0” do 20 dB	1436	1217	0,001
	„1” (20; 40] dB	1820	1131	
	„2” ponad 40 dB	3194	814	
v7. ogólny czas bez naciskania na hamulec lub gaz (sek)	„0” do 20 dB	20,07	13,70	0,131
	„1” (20; 40] dB	16,34	11,51	
	„2” ponad 40 dB	10,99	3,70	

*pogrubiona średnia różni się od dwóch pozostałych, które nie różnią się między sobą

Tabela XII. Ocena zależności między stopniem uszkodzenia słuchu obliczonym jako średnia dla częstotliwości 0,5, 1, 2 i 4 kHz (WHO) a wynikami parametrów sprawności psychoruchowej. Ucho lewe.

Zmienna „psycho ...”	Głębokość ubytku słuchu	Średnia	Odch. Stand.	p w teście porównywania trzech średnich
v1. czas w sek	„0” do 20 dB	1977	555	0,298
	„1” (20; 40] dB	1888	508	
	„2” ponad 40 dB	1681	538	
v2. liczba wahań kierownicą	„0” do 20 dB	73 094	23 494	0,960
	„1” (20; 40] dB	73 231	19 643	
	„2” ponad 40 dB	75 344	26 301	
v3. największa liczba klatek bez wahanía kierownicą	„0” do 20 dB	2860	1106	0,656
	„1” (20; 40] dB	2905	663	
	„2” ponad 40 dB	2367	1800	
v4. najdłuższy czas bez wahanía kierownicą (sek)	„0” do 20 dB	47,67	18,43	0,529
	„1” (20; 40] dB	48,41	11,02	
	„2” ponad 40 dB	39,46	30,01	
v5. liczba naciśnień pedału hamulca lub gazu	„0” do 20 dB	88 393	31 221	0,605
	„1” (20; 40] dB	93 290	23 928	
	„2” ponad 40 dB	81 731	24 085	
v6. max liczba klatek bez naciskania hamulca lub gazu*	„0” do 20 dB	1242	893	< 0,0005
	„1” (20; 40] dB	2110	1500	
	„2” ponad 40 dB	3209	756	
v7. ogólny czas bez naciskania na hamulec lub gaz (sek)	„0” do 20 dB	19,31	13,82	0,222
	„1” (20; 40] dB	18,00	12,18	
	„2” ponad 40 dB	11,87	4,03	

*różnią się między sobą tylko pogrubione średnie

6. Analiza zależności między stopniem uszkodzenia słuchu w teście HINT a parametrami sprawności psychoruchowej

Tabela XIII przedstawia zależności między stopniem uszkodzenia słuchu w teście HINT a parametrami sprawności psychoruchowej. Granicę odcięcia dla słuchu prawidłowego i nieprawidłowego dla stosunku sygnału do szumu (S/N) w teście HINT ustalono na poziomie – 11, 05 dB tj. wartości odpowiadającej średniemu uszkodzeniu słuchu w audiometrii tonalnej na poziomie 40 dB w częstotliwościach 3, 4, 6 i 8 kHz. (ANCOVA).

Wykazano istotną zależność między wynikiem badania słuchu a parametrem v6 – tj. „maksymalną liczbą klatek bez naciskania hamulca lub gazu”, a także parametrem v7 tj. „ogólnym czasem bez naciskania na hamulec lub gaz”. W grupie osób ze słuchem nieprawidłowym maksymalna liczba klatek bez naciskania hamulca lub gazu była istotnie większa niż w grupie osób bez niedosłuchu, natomiast ogólny czas bez naciskania na hamulec lub gaz był krótszy. Można to interpretować, że kierowcy z niedosłuchem rzadziej i krócej używają pedału hamulca lub gazu, czyli jadą ostrożniej.

Tabela XIII. Ocena zależności między stopniem uszkodzenia słuchu ocenianym w oparciu o wynik zbiorczy HIT (HINT zbiorczy) a wynikami parametrów sprawności psychoruchowej.

Zmienna „psycho ...”	HINT 0_1	Średnia	Odch. Stand.	p w teście porównywania dwóch średnich
v1. czas w sek	„0” mniejszy, równy - 11,05	1939	566	0,586
	„1” większy od – 11,05	1860	528	
v2. liczba wahań kierownicą	„0” mniejszy, równy - 11,05	71 118	23 554	0,426
	„1” większy od – 11,05	75 894	22 223	
v3. największa liczba klatek bez wahania kierownicą	„0” mniejszy, równy - 11,05	2900	1132	0,445
	„1” większy od – 11,05	2662	1232	
v4. najdłuższy czas bez wahania kierownicą (sek)	„0” mniejszy, równy - 11,05	48,33	18,87	0,445
	„1” większy od – 11,05	44,37	20,54	
v5. liczba naciśnieć pedału hamulca lub gazu	„0” mniejszy, równy - 11,05	89 170	28 216	0,821
	„1” większy od – 11,05	87 485	28 709	
v6. max liczba klatek bez naciskania hamulca lub gazu*	„0” mniejszy, równy - 11,05	1324	929	0,003
	„1” większy od – 11,05	2289	1404	
v7. ogólny czas bez naciskania na hamulec lub gaz (sek)	„0” mniejszy, równy - 11,05	22,06	15,48	0,007
	„1” większy od – 11,05	13,30	5,92	

7. Analiza zależności między stopniem uszkodzenia słuchu ocenianym w audiometrii tonalnej oraz w teście HINT a ryzykiem kolizji

Uzyskawszy dość niespodziewanie wyniki opisane w części 5, podjęto próbę zweryfikowania hipotezy, że głębokość ubytku słuchu u kierowców wpływa na ryzyko spowodowania kolizji. Zastosowano model regresji logistycznej, przyjmując jako czynniki ryzyka średnią (z częstotliwości 3, 4, 6 i 8 kHz oraz z 0,5, 1, 2 i 4 kHz) wielkość ubytku słuchu w uchu prawym i lewym oraz zmienną HINT zbiorczy.

Wyniki analizy przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela XIV. Wyniki oceny zależności między wielkością ubytku słuchu i zmienną HINT a ryzykiem kolizji. Zależności istotne statystycznie pogrubiono.

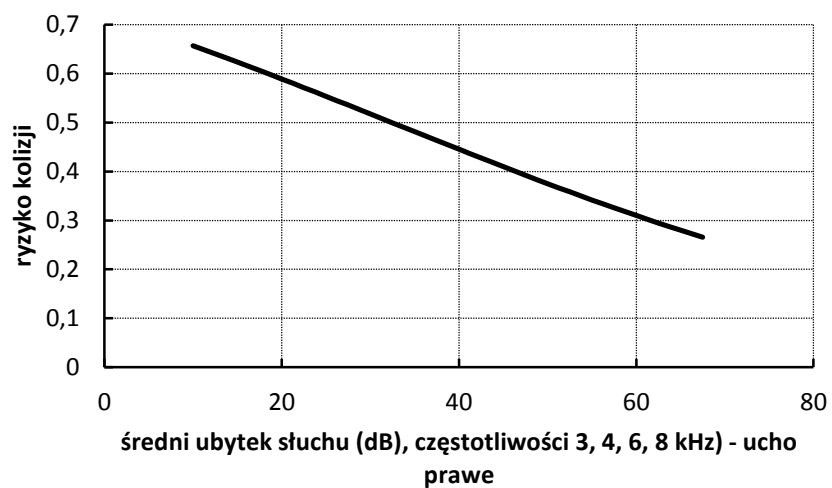
Czynnik ryzyka	Stała	Wsp. regr. B	Błąd stand. B	Iloraz szans (OR)	p w teście oceny istotności OR
Średnia wielkość ubytku słuchu* (dB) – ucho prawe	0,940	- 0,029	0,017	0,971	0,086
Średnia wielkość ubytku słuchu* (dB) – ucho lewe	0,897	- 0,027	0,015	0,973	0,060
HINT zbiorczy	- 3,443	- 0,322	0,136	0,724	0,018
Średnia wielkość ubytku słuchu (dB) wg WHO** – ucho prawe	0,759	- 0,035	0,024	0,965	0,137
Średnia wielkość ubytku słuchu (dB) wg WHO** – ucho lewe	0,921	- 0,042	0,021	0,959	0,046

*średnia ubytku słuchu dla częstotliwości 3, 4, 6 i 8 kHz

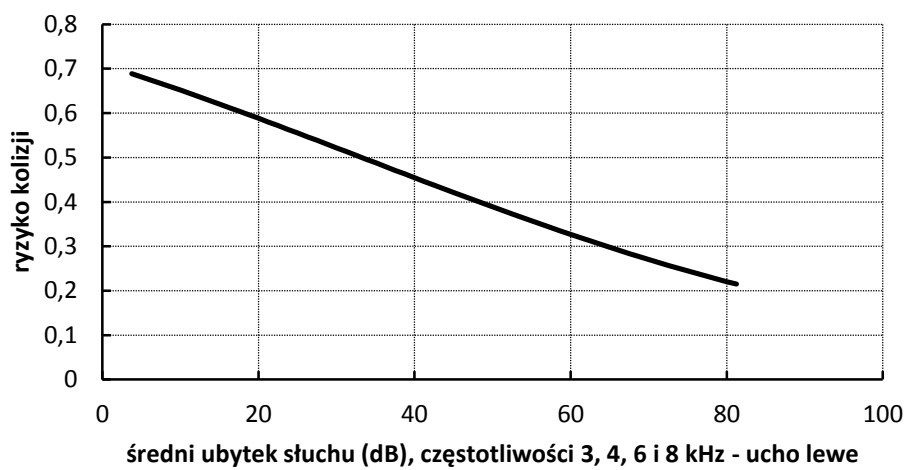
** średnia ubytku słuchu dla częstotliwości 0,5, 1, 2 i 4 kHz

Zależności istotne statystycznie wykazano dla następujących parametrów oceny słuchu: HINT zbiorczy i średnia wielkość ubytku słuchu wg WHO (częstotliwości 0,5, 1, 2 i 4 kHz) w uchu lewym oraz wynik na granicy istotności statystycznej dla średniej wielkości ubytku słuchu dla częstotliwości wysokich (3, 4, 6 i 8 kHz) w uchu lewym.

Poniżej przedstawione są graficznie krzywe regresji logistycznej dla ocenianych zależności (ryc. 2). Wskazują one jednoznacznie na zależność: im większa wartość uszkodzenie słuchu (zarówno w audiometrii tonalnej jak i teście HINT) tym mniejsze prawdopodobieństwo (ryzyko) kolizji.



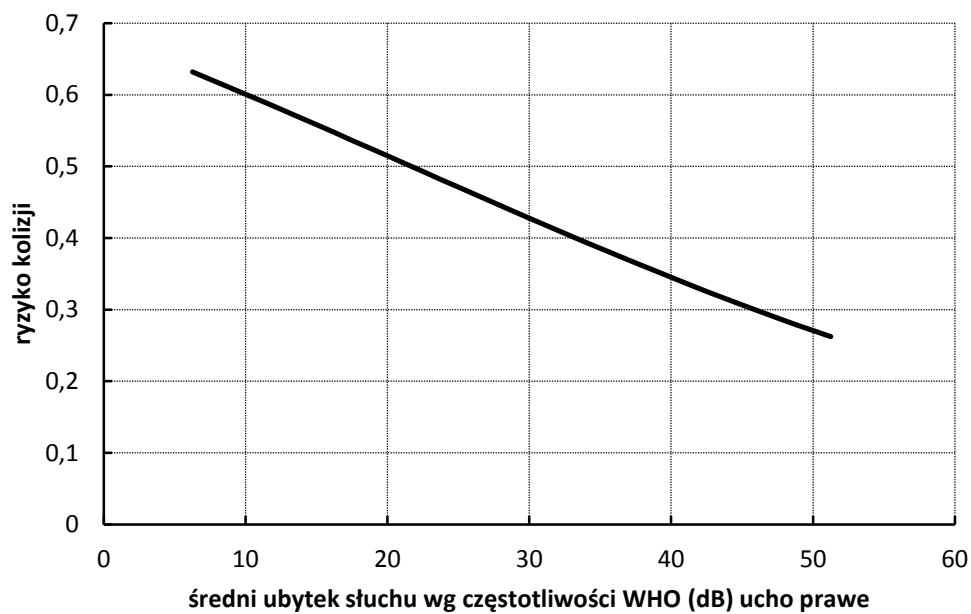
Ryc. 2a.



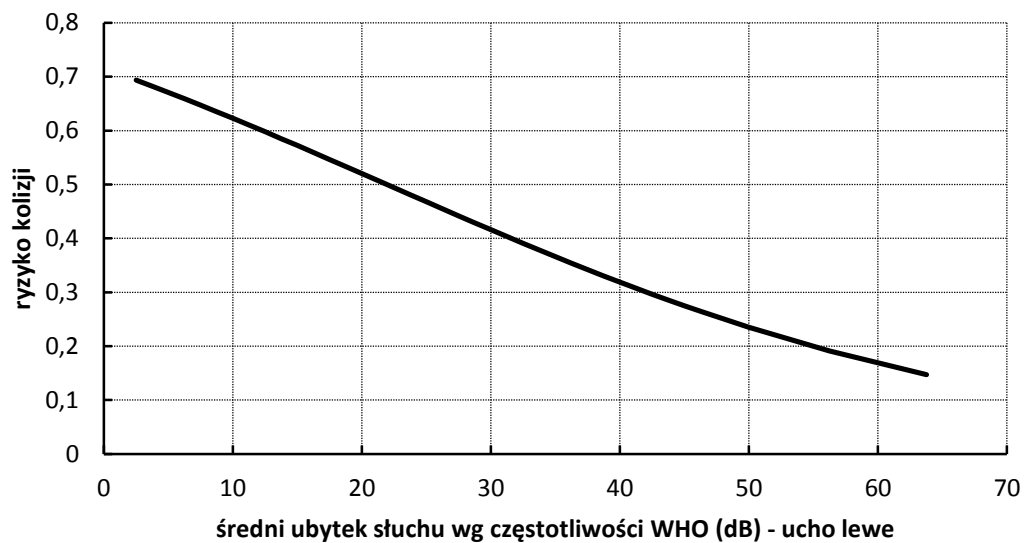
Ryc. 2b



Ryc. 2c.



Ryc. 2d.



Ryc. 2e.

Rycina 2 (a, b, c, d, e) Krzywe regresji logistycznej obrazujące zależności między wielkością ubytku słuchu ocenianą w audiometrii tonalnej i w teście HINT a ryzykiem kolizji.

Podjęta została również próba oceny ryzyka w grupach wielkości ubytku słuchu oceniając ryzyka względne w stosunku do grupy dobrze słyszających. Wyniki przedstawione są w tabeli XV.

Tabela XV. Wyniki oceny ryzyka względnego w grupach kierowców z ubytkiem słuchu. Zależności istotne statystycznie pogrubiono

Czynnik ryzyka	Wielkość ubytku	Wsp. reg. B	Błąd stand. B	Iloraz szans (OR)	p w teście oceny istotności OR
Średnia wielkość ubytku słuchu* (dB) – ucho prawe	nie mniej niż 20 dB			1,000	
	20-40 dB	- 0,565	0,718	0,568	0,431
	ponad 40 dB	- 0,922	0,748	0,398	0,217
Średnia wielkość ubytku słuchu* (dB) – ucho lewe	nie mniej niż 20 dB			1,000	
	20-40 dB	- 0,154	0,714	0,857	0,829
	ponad 40 dB	- 1,540	0,734	0,214	0,036
HINT zbiorczy	nie mniej niż – 11,05			1,000	
	więcej niż – 11,05	- 0,772	0,567	0,462	0,173
Średnia wielkość ubytku słuchu (dB) wg WHO** – ucho prawe	nie mniej niż 20 dB			1,000	
	20 – 40 dB	0,511	0,648	1,667	0,431
	ponad 40 dB	- 1,386	0,883	0,250	0,116
Średnia wielkość ubytku słuchu (dB) wg WHO** – ucho lewe	nie mniej niż 20 dB			1,000	
	20-40 dB	- 0,281	0,678	0,755	0,678
	ponad 40 dB	- 2,738	1,118	0,065	0,014

*średnia ubytku słuchu dla częstotliwości 3, 4, 6 i 8 kHz

** średnia ubytku słuchu dla częstotliwości 0,5, 1, 2 i 4 kHz

W przypadku ucha lewego w grupie z największym ubytkiem ryzyko kolizji jest wielokrotnie mniejsze niż w grupie bez ubytku słuchu.

VI. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań wskazują, że:

1. Uszkodzenie słuchu może wpływać na technikę prowadzenia pojazdu samochodowego.
2. Osoby z obustronnym niedosłuchem niewielkiego i umiarkowanego stopnia wydają się ostrożniej prowadzić pojazdy samochodowe niż osoby bez niedosłuchu.
3. U osób z obustronnym niedosłuchem niewielkiego i umiarkowanego stopnia ryzyko kolizji drogowej wydaje się być (wielokrotnie) mniejsze niż u osób bez niedosłuchu; zależność tę obserwowano, gdy stan słuchu oceniano dla ucha lewego.
4. Badanie mowy w szumie (HINT) dobrze koreluje z parametrami audiometrii tonalnej w aspekcie oceny sprawności psychoruchowej kierowcy.

Wnioski:

1. Uzyskane wyniki badań, oparte o nowatorskie metody badawcze, są pierwszymi badaniami tego typu w świecie.
2. Konieczna jest kontynuacja badań nad zależnościami między stanem słuchu a sprawnością psychoruchową kierowcy, w szczególności ukierunkowanych na ocenę osób z:
 - a. głębokimi uszkodzeniami słuchu
 - b. asymetrią niedosłuchu
 - c. noszących aparaty słuchowe lub wszczepy ślimakowe.