

Dr inż. Rafał S. Jurecki
Dr inż. Marek Jaśkiewicz

Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu
Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-143 Kielce
E-mail: m.jaskiewicz@tu.kielce.pl
E-mail: rjurecki@tu.kielce.pl

Dr inż. Marek Guzek
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Lozia
Mgr inż. Piotr Zdanowicz

Politechnika Warszawska
Wydział Transportu
Ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
E-mail: mgu@it.pw.edu.pl
E-mail: lozia@it.pw.edu.pl
E-mail: zdanowicz@it.pw.edu.pl

Czas reakcji kierowcy w warunkach awaryjnego hamowania samochodu **– badania w symulatorze jazdy samochodem**

Słowa kluczowe: badania kierowców, czas reakcji kierowców, czas ryzyka, symulatory jazdy samochodem

Streszczenie. W publikacji przedstawiono wyniki badań dotyczące czasu reakcji kierowców pojazdów samochodowych w sytuacjach zagrożenia wypadkowego. Badania te zostały wykonane w symulatorze jazdy samochodem autoPW w ramach projektu badawczego N509 016 31/1251. W zainscenizowanej sytuacji przedwypadkowej, badany kierowca próbując uniknąć zderzenia z przeszkodą, zmuszony był do wykonania manewru hamowania. Przebadano 107 osób różniących się wiekiem i doświadczeniem w prowadzeniu samochodu. Rozważono różne scenariusze opisujące sytuacje zagrożenia (prędkość samochodu, którym kierował badany, odległość pomiędzy pojazdami w chwili początkowej). Wyznaczono czasy reakcji na elementach sterowania pojazdem i przedstawiono je w funkcji *czasu ryzyka* (ang. *time to collision*). Zaprezentowane wyniki dostarczyły istotnych informacji na analizowany temat (np. zależność czasu reakcji od czasu ryzyka). Potwierdziły też przydatność prowadzenia tego rodzaju badań w symulatorach w związku z możliwością dosyć wiernego odwzorowania wyglądu otoczenia i scenariusza zdarzeń w stosunku do możliwych rzeczywistych sytuacji.

1. Wprowadzenie

Według danych statystycznych, np. [16, 19, 20] najczęstszą przyczyną powstawania wypadków drogowych są kierujący pojazdami. Ocenia się, że około 70% wypadków w Polsce jest następstwem błędnego działania kierowcy. Spośród wielu cech, charakteryzujących jego działanie w sytuacji zagrożenia wypadkowego na drodze, jest tak zwany czas reakcji. W skrócie można go zdefiniować jako okres od chwili pojawienia się zagrożenia do chwili, gdy

kierowca podejmie określone działania na elementach sterowania samochodem w celu uniknięcia wypadku.

Parametr ten ma bezpośredni wpływ na przebieg sytuacji wypadkowej, a tym samym na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Z drugiej strony, jest on jedną z podstawowych danych przyjmowanych podczas obliczeń przeprowadzanych przez ekspertów techniki samochodowej i ruchu drogowego (oraz biegłych sądowych) w procesie rekonstrukcji przebiegu wypadku. Od przyjętej w obliczeniach wartości mogą zależeć wyniki takiej analizy, które z kolei wpływają na orzeczenie sądu o winie uczestników zdarzenia bądź jej braku. Z obu punktów widzenia badania dotyczące czasu reakcji mają więc uzasadnienie.

W pracy zaprezentowano wybrane rezultaty obszernych badań, przeprowadzonych w latach 2007-2010, których podstawowym celem było zgromadzenie danych czasów reakcji. Badania te, prowadzone były przez trzy zespoły: z Politechniki Świętokrzyskiej (lider), z Politechniki Warszawskiej i z Politechniki Krakowskiej, w ramach projektu nr N509 016 31/1251 „Rozwój i aktualizacja bazy danych dotyczących czasów reakcji osób kierujących pojazdami drogowymi”.

2. Uzasadnienie potrzeby badań czasu reakcji

W poradnikach i materiałach szkoleniowych dla biegłych sądowych oraz rzeczoznawców techniki samochodowej i ruchu drogowego, dane dotyczące czasów reakcji kierowców są jednymi z podstawowych. W wielu publikacjach, przedstawiane są różne ich wartości, często znacznie się różniące. Tymczasem, jak wspomniano wcześniej, od tego jakie wartości zostaną użyte podczas analizy przez biegłego sądowego, może w dużym stopniu zależeć końcowe orzeczenie o ewentualnej winie kierowcy.

Różnice te wynikają często z różnych metodologii badawczych (narzędzie - środowisko badań, metodyka testów, licznosc i „skład” grupy badanych, sposób prezentacji wyników). Patrząc z punktu widzenia przydatności do rekonstrukcji wypadków należy stwierdzić, że nie wypracowano dotychczas metody, którą jednoznacznie można byłoby uznać za najlepszą. Ogólnie można wskazać trzy metody (środowiska badawcze) wykorzystywane do tego typu badań:

- testy na stanowiskach do badań kwalifikacyjnych kierowców (stosowanych w pracowniach psychologii transportu),
- eksperymenty na drogach lub torach badawczych,
- badania w symulatorach jazdy.

Ocena czasu reakcji w badaniach psychotechnicznych jest jednym z zestawu testów wykonywanych w pracowniach psychologicznych do ogólnej oceny zdolności badanego w zakresie prowadzenia pojazdów mechanicznych. Badania te charakteryzują się wypracowaną od wielu lat metodyką i sposobem oceny ich wyników, np. [22]. W przypadku czasu reakcji wykorzystywane są tak zwane refleksometry. Ocenia się czas reakcji, jako okres od pojawienia się zadanego bodźca świetlnego lub dźwiękowego do naciśnięcia odpowiedniego przycisku na pulpicie.

W przypadku danych pochodzących z eksperymentów na drodze lub torze badawczym, najczęściej są to wyniki badań reakcji na tzw. bodziec prosty (pojedynczy sygnał dźwiękowy lub świetlny), przy czym sposób reagowania kierowcy też jest uproszczony - ma on zadziałać na jeden z elementów sterowania samochodem (pedał hamulca roboczego, dźwignię hamulca ręcznego albo kierownicę) [2, 5, 21, 31, 32]. Wyniki tego rodzaju badań są często publikowane jako zalecenie dla rzeczoznawców, np. [2, 33].

W rzeczywistych sytuacjach drogowych (poza jazdą np. w kolumnie na autostradzie, gdzie reakcja następuje na światło „stopu” poprzedzającego samochodu) kierowca reaguje na bodźce złożone. Jednak w literaturze sprzed 10-15 lat trudno jest znaleźć dane dotyczące

czasów reakcji, w których zarówno bodziec jak i reakcja kierowcy są złożone (podobnie jak w rzeczywistych sytuacjach wypadkowych). Dotychczas realizowano badania reakcji na bodźce złożone, ale były to często sytuacje silnie uproszczone. Na przykład w pracach [5, 21], w badaniach reakcji na bodziec złożony zastosowano lampki stymulatorów przyklejonych na przedniej szybie samochodu. W ostatnich latach badania na drogach lub torach polegały coraz częściej na realizacji umownych scenariuszy wypadkowych, które uznano za reprezentatywne. Autorzy we wcześniejszych pracach [6, 13, 25, 26] przedstawiali tego typu testy.

Należy jeszcze wspomnieć o badaniach typu „obserwacja” w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego. Badania te polegają najczęściej na analizie zapisów z kamer (np. monitoringu) umieszczonych przy drogach [23]. Wynik oceny (czas reakcji) jest tu jednak silnie uzależniony od arbitralnych założeń obserwatora, co do chwili początkowej sytuacji zagrożenia, a więc także bodźca.

Rozwój technik symulacyjnych, wzrost wydajności komputerów i układów do generowania obrazów umożliwił wykorzystanie wirtualnego środowiska badań kierowców - symulatorów jazdy samochodem. Znajdują one coraz częściej zastosowanie w badaniach kierowców. Ich wykorzystanie zwiększa niezależność od warunków pogodowych, sprzyja wzrostowi powtarzalności warunków badań i wyników [6, 17, 22]. Umożliwia też realizację praktycznie dowolnych scenariuszy sytuacji wypadkowych w sposób niezagrażający bezpieczeństwu. Ponadto, doświadczenia autorów wskazują na silną korelację wyników badań w symulatorze oraz w rzeczywistym samochodzie na torze badawczym [6, 13].

Podsumowując ten krótki przegląd literatury można stwierdzić, że niezbędne są badania, w których będą wyznaczane czasy reakcji nie na bodziec lub układ bodźców prostych, lecz na pewną zasymulowaną sytuację zagrożenia wypadkowego. Liczba dostępnych w literaturze wyników dla tego typu testów jest niewielka i obejmuje wybrane przypadki szczególne.

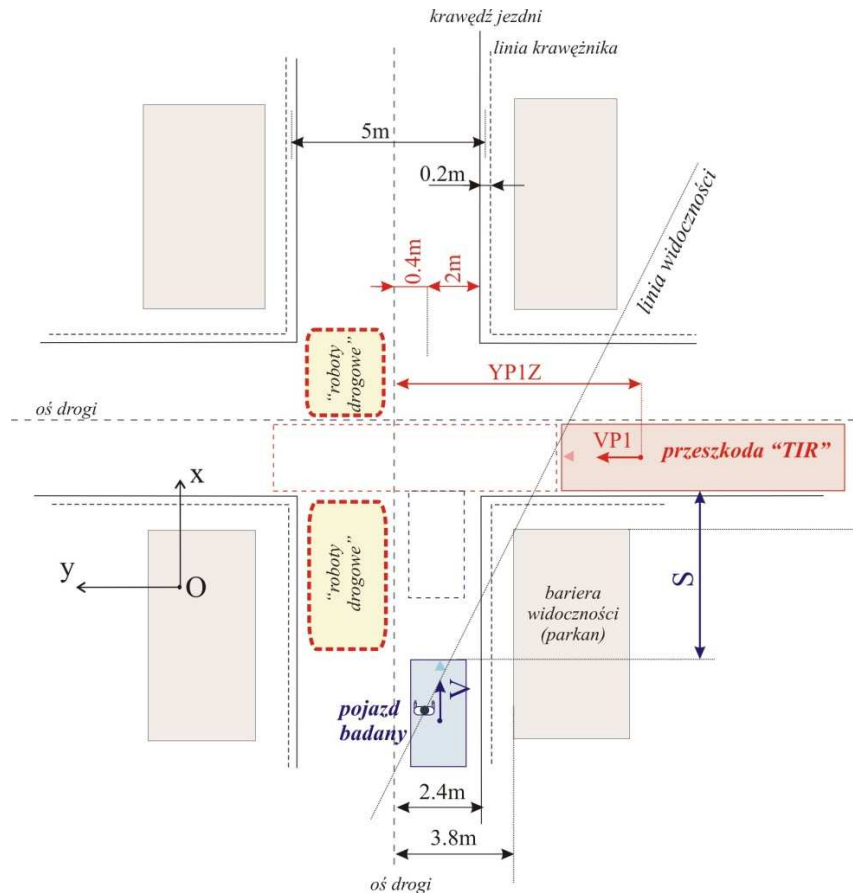
3. Charakterystyka badań

W projekcie realizowano badania dla 3 wybranych scenariuszy sytuacji zagrożenia wypadkowego. Prowadzone one były zarówno na Torze Kielce, jak i w symulatorze jazdy samochodem autoPW. Cechą wspólną scenariuszy była przeszkoda pojawiająca się na drodze w sposób nagły przy dodatkowo ograniczonej widoczności. Scenariusze różniły się rodzajem przeszkody (samochód osobowy, pieszy, zestaw ciągnik siodłowy-naczepa), charakterem ruchu przeszkody i innymi elementami na drodze, które wpływały na stopień skomplikowania sytuacji. W każdym scenariuszu przebadano ponad 100 osób. Dla każdego z badanych kierowców przeprowadzono jak już wspomniano testy zarówno na torze jak i w symulatorze. Ponadto, w obu środowiskach badawczych wykonano próby dla różnych wartości warunków początkowych czasu ryzyka (stosunek odległości od przeszkody do prędkości samochodu prowadzonego przez badanego kierowcę).

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań dla III scenariusza, które wykonano w symulatorze jazdy samochodem autoPW. Schemat próby przedstawiono na rysunku 1.

W próbie odwzorowano sytuację, w której samochód ciężarowy (zestaw ciągnik siodłowy z naczepą) przejeżdżał prostopadłe przez skrzyżowanie z jezdnią 2-pasmową tak, że zablokowane były oba pasy ruchu. Widoczność drogi poprzecznej została silnie ograniczona. Na lewym pasie ustawiono zapory drogowe, wraz z typowym oznakowaniem dla robót drogowych. Zadaniem kierowców podczas badań była próba uniknięcia zderzenia z przeszkodą, przy czym nie narzucano im, w jaki sposób mają to uczynić. Sposób zaaranżowania sytuacji w praktyce wyeliminował możliwość wyboru innego manewru obronnego niż gwałtowne hamowanie (tak zwane hamowanie awaryjne). Taki scenariusz sytuacji wypadkowej wprowadzono, jako efekt analizy poprzednich prac autorów [6, 7, 25,

26] oraz konsultacji z ekspertami w dziedzinie rekonstrukcji wypadków drogowych. Rzeczoznawcy i biegli sędziwi podkreślali potrzebę prowadzenia badań, w których jedyną reakcją polega na gwałtownym hamowaniu, bo niezależnie od charakteru sytuacji wypadkowej jest to zdecydowanie najczęściej stosowany przez kierowców manewr obronny.



Rys. 1. Schemat próby dla badań w symulatorze (dla scenariusza III)

Dla porównania, w pozostałych scenariuszach, które rozważano, ogólna koncepcja sytuacji była podobna – nagle pojawiająca się z prawej strony przeszkoda (samochód osobowy i pieszy) na skrzyżowaniu. Możliwe było w nich wykonanie również manewru omijania.

Badania zrealizowano w symulatorze jazdy samochodem autoPW, zbudowanym i eksploatowanym na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej [3, 17, 30]. Jest to stanowisko laboratoryjne, które umożliwia badanie kierowcy w zainscenizowanych warunkach ruchu pojazdu, również w sytuacjach przedwypadkowych w ruchu drogowym [3, 8, 9, 17, 30].

Podstawowe elementy symulatora to:

- naturalna kabina kierowcy pochodząca z samochodu osobowego klasy średniej z kompletem elementów wyposażenia, ekranu głównego i pomocniczego (bocznego), na których wyświetlany jest (za pomocą projektorów) obraz widziany przez przednią szybę samochodu (kąt widzenia w płaszczyźnie poziomej wynosi ponad 90°), układ czujników położenia elementów sterowania pojazdem (pedały przyspieszenia, hamulca, sprzęgła, dźwignia zmiany biegów, przełączniki deski rozdzielczej),
- układ komputerowy symulatora oraz układ akwizycji danych służący do wymiany informacji między czujnikami a układem komputerowym.

W układzie komputerowym symulowany jest ruch pojazdu na podstawie danych z czujników (mierzących wielkości charakteryzujące działanie kierowcy) oraz danych opisujących pojazd i warunki drogowe. Generowany jest obraz widziany przez kierowcę, stosownie do jego działań i zaplanowanej scenerii otoczenia, efekty dźwiękowe, stan wskaźników deski rozdzielczej. Działania badanego są monitorowane i rejestrowane. Symulator autoPW jest symulatorem statycznym, kabina pojazdu pozostaje w trakcie pracy symulatora nieruchoma (kierowca nie odczuwa ciałem bodźców bezwładnościowych). Model matematyczny pojazdu stosowany w symulatorze [17, 18] opisuje dynamikę ruchu pojazdu. Został on pozytywnie zweryfikowany eksperymentalnie dla typowych testów zalecanych przez ISO [10]. Szczegóły jego budowy można znaleźć w źródłach [3, 17, 30].

Możliwości graficzne symulatora jazdy auto PW pozwalają na dokładne odwzorowanie graficzne rzeczywistego skrzyżowania drogowego. Do opisywanych badań wybrano skrzyżowanie dwóch ulic w Warszawie. Obrazy w symulatorze zbudowano na podstawie sporządzonej dokumentacji fotograficznej skrzyżowania i jego otoczenia. W dokładny sposób odtworzono parametry geometryczno – przestrzenne (wzajemne odległości, szerokość jezdni, chodnika itp.) oraz kolorystykę obiektów.

Badania były prowadzone dla danych odpowiadających pojazdowi FSO Polonez. Co ważne, kabina symulatora pochodziła z takiego samochodu. Istotna była również możliwość późniejszego porównania wyników w symulatorze do uzyskanych w badaniach poligonowych na Torze Kielce, gdzie w wykorzystywano tego typu pojazd.

Badania wykonano dla 107 kierowców:

- Kierowcy w wieku do 25 lat – liczność próby 76 osób;
- kierowcy w wieku od 26 do 35 lat – liczność próby 11 osób;
- kierowcy w wieku od 36 do 45 lat – liczność próby 10 osób;
- kierowcy w wieku powyżej 46 lat – liczność próby 10 osób.

Jako podstawowy parametr charakteryzujący próbę przyjęto czas ryzyka. Parametr ten opisano we wcześniejszych publikacjach autorów np. [6, 7, 13, 14, 25]. W niektórych publikacjach anglojęzycznych można go odnaleźć pod nazwą TTC (ang. Time To Collision). Testy przeprowadzono dla 22 wartości czasu ryzyka od 0,3÷3,6s uzyskanych jako kombinacje prędkości i odległości pojazdu od przeszkody tzn.:

- prędkości jazdy badanego pojazdu: 36, 40, 45, 50, 51.4, 60 i 65 km/h,
 - odległości od pojazdu, przy jakich kierowca zauważył przeszkodę: 5, 10; 20; 30; 40 i 50m.
- Zestawienie parametrów prób przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Realizowane wartości czasu ryzyka, dla poszczególnych prób podczas badań

Nr próby:	1s	2s	3s	4s	5	6s	7	8	9	10	11
Czas ryzyka, [s]	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,72	0,8	0,9	1,0
Prędkość badanego pojazdu V, [km/h]	60	51,4	45	40	36	65	60	50	45	40	36
Odległość od przeszkody w chwili jej pojawienia S, [m]	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10
Nr próby:	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Czas ryzyka, [s]	1,2	1,44	1,8	1,8	2,0	2,16	2,4	2,7	2,88	3,0	3,6
Prędkość badanego pojazdu V, [km/h]	60	50	40	60	36	50	60	40	50	60	50
Odległość od przeszkody w chwili jej pojawienia S, [m]	20	20	20	30	20	30	40	30	40	50	50

Na rys. 2 przedstawiono przykład realizacji badań w symulatorze (widok „z lotu ptaka”). Pokazano na nich sekwencję 4 obrazów (klatek) ilustrujących przebieg wybranej próby.

Próby dla poszczególnych czasów ryzyka (czasów TTC) były losowo (z punktu widzenia badanego) wymieszane, przy zachowaniu tej samej kolejności dla każdego kierowcy. W ten sposób przeprowadzono (łącznie z tzw. „pustymi przejazdami”) około 2500 prób.

Dla każdego przejazdu rejestrowano wielkości charakteryzujące ruch samochodu badanego, przeszkód oraz wielkości opisujące działanie kierowcy na elementach sterowania samochodem. Na rys. 3 przedstawiono zapis wybranych parametrów dla próby pokazanej na rys. 2 (ciekawostką pokazanej próby było widoczne na rys. 3d pulsacyjne działanie kierowcy na pedale hamulca). Takie rejestracje były podstawą analizy zachowania kierowcy. W niniejszej pracy, ograniczono się do głównej ocenianej wielkości - czasu reakcji.

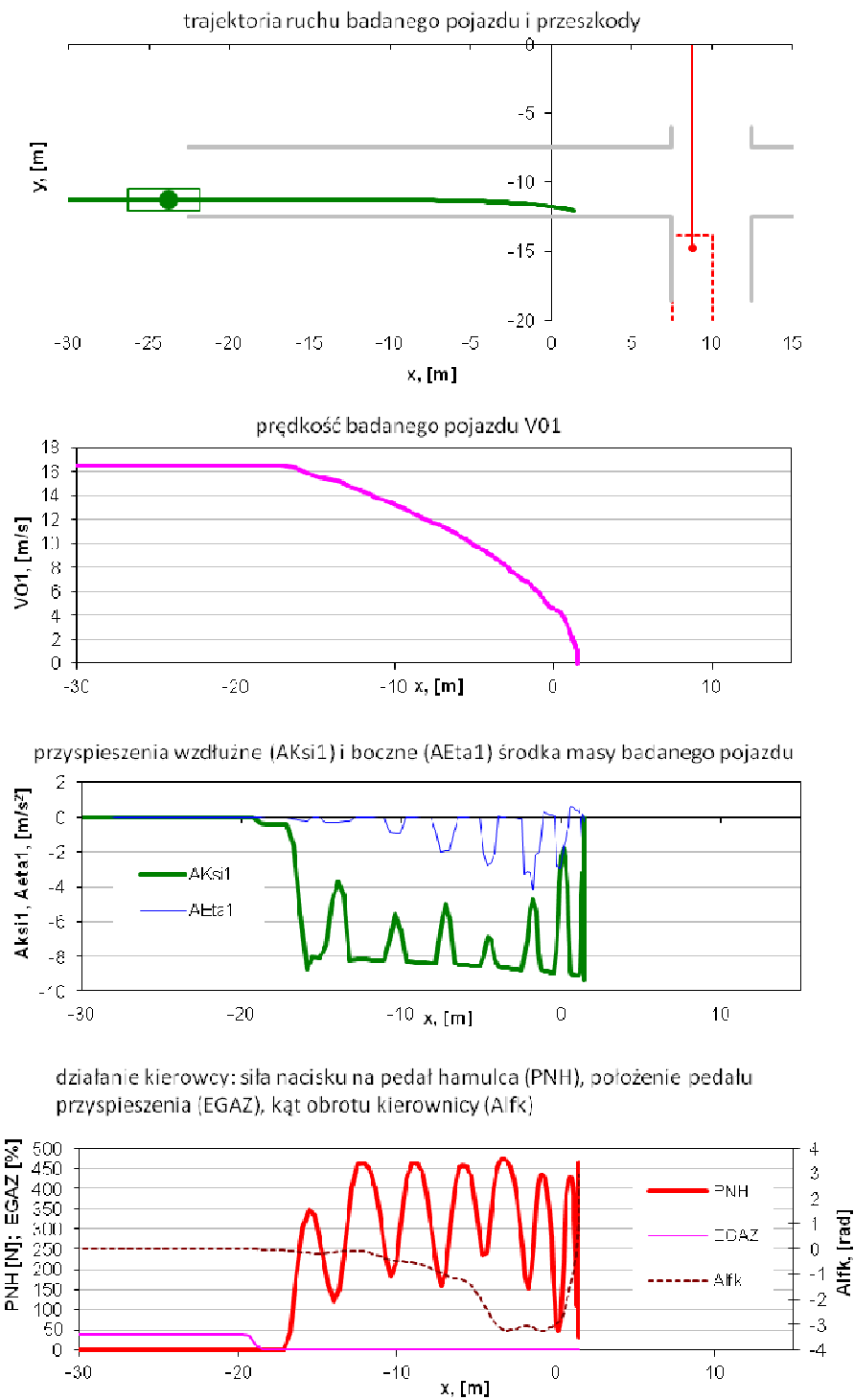


Rys. 2. Przykładowa realizacja próby, czas ryzyka 1,8 s, prędkość pojazdu 60 km/h, odległość od przeszkody 30 m, próba zakończona bez kolizji

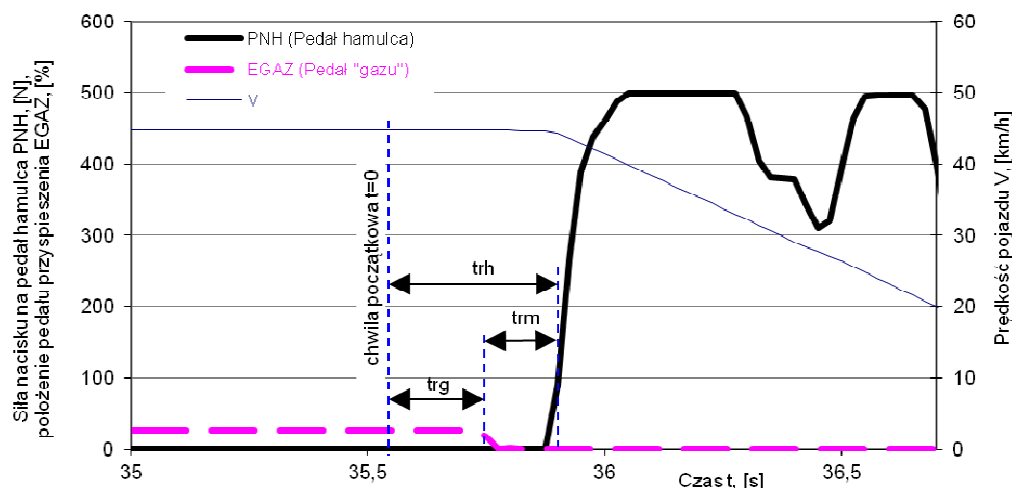
4. Analiza czasów reakcji kierowców

Zależności charakteryzujące czasy reakcji wyznaczono dla całej populacji badanych kierowców. Jak opisano wcześniej, specyfika sytuacji drogowej narzucała w praktyce jeden rodzaj zachowania: zmniejszenie prędkości ruchu bez możliwości omijania przeszkody. Wyznaczono zatem następujące czasy reakcji:

- czas reakcji na pedale przyspieszenia, rozumiany, jako czas od momentu pojawienia się przeszkody do początku zdejmowania nogi z pedału przyspieszenia, w skrócie: czas reakcji „gaz” lub czas reakcji psychicznej („trg” na rys. 4);
- czas reakcji psychomotorycznej podczas hamowania, wyznaczany, jako czas od momentu pojawienia się przeszkody do początku pojawienia się siły na pedale hamulca, w skrócie: czas reakcji „hamulec” („trh” na rys. 4);
- czas reakcji motorycznej podczas hamowania, wyznaczany, jako czas od początku zdejmowania nogi z pedału gazu do początku pojawienia się siły na pedale hamulca, w skrócie: czas reakcji motorycznej („trm” na rys. 4).

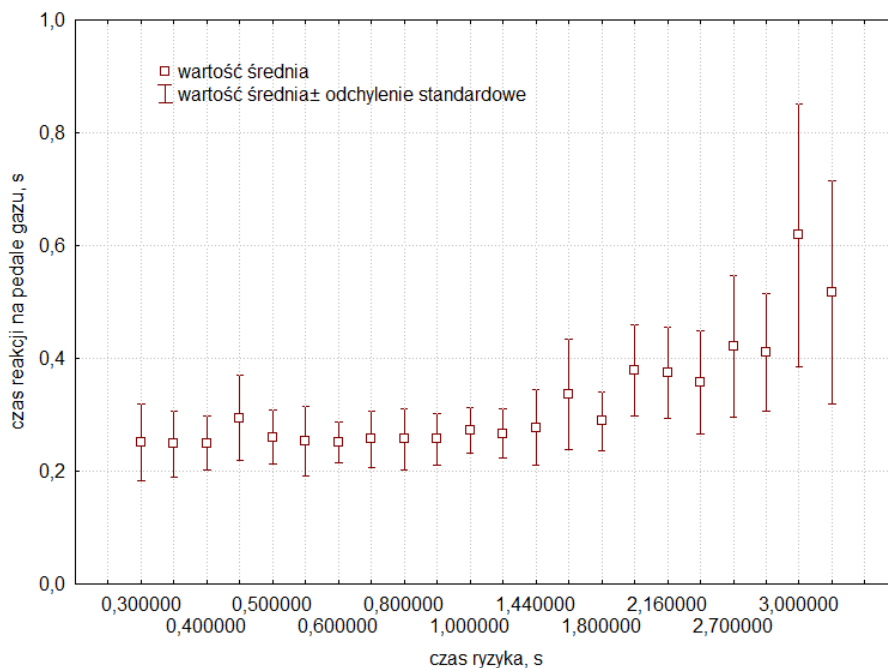


Rys. 3. Wybrane wielkości fizyczne zarejestrowane w próbie pokazanej na rys. 2 (czas ryzyka 1,8 s),
prędkość pojazdu 60 km/h, odległość od przeszkody 30 m



Rys. 4. Fragmenty wybranych przebiegów zarejestrowanych w trakcie próby – ilustracja czasów reakcji: trg – czas reakcji „gaz”, trh – czas reakcji „hamulec”, trm – czas reakcji motorycznej

Na rysunku 5 pokazano czasy reakcji „gaz“. Średnie wartości tego czasu reakcji zmieniły się, w badanym zakresie czasu ryzyka od ok. $0,25 \div 0,6s$.



Rys. 5. Czas reakcji „gaz“ w funkcji czasu ryzyka

W zakresie wartości czasu ryzyka od $0,3 \div 1,2s$ można uznać, że przyjmowały w przybliżeniu stały poziom, wynoszący ok. $0,25s$. W zakresie czasu ryzyka powyżej $1,2s$ średnie wartości czasu reakcji rosły w przybliżeniu liniowo w funkcji czasu ryzyka. Podobne wnioski jakościowe sformułowano w odniesieniu do odchylenia standardowego. Dla czasu ryzyka mniejszego od $1,2s$, odchylenie standardowe kształtowało się na w przybliżeniu stałym poziomie, wynoszącym $0,045 \div 0,06s$, a potem zaczynało wzrastać do wartości około $0,2s$, dla największego analizowanego czasu ryzyka wynoszącego $3,6s$.

Odstępstwa od opisanych prawidłowości wystąpiły dla czasów ryzyka: $0,45s$ i $3,0s$. Dla tych prób wartość średnia i odchylenie standardowe przyjmowały wartości zauważalnie większe niż wynikałoby to z opisanych trendów. Wyjaśnienia tego zjawiska można poszukiwać w kolejności realizowania testów. Jak wspomniano wcześniej, próby dla kolejnych wartości

czasu ryzyka były wymieszane, ale zachowana była ta sama ich kolejność dla każdego kierowcy.

Harmonogram wykonywania poszczególnych prób przedstawiono w tabeli 2. W tabeli tej wyróżniono cztery charakterystyczne próby, których cechą wyróżniającą była bardzo duża zmiana parametrów w stosunku do próby poprzedniej (przede wszystkim czasu ryzyka).

Tablica 2. Kolejność realizacji prób

Nr próby według kolejności wykonywania:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(nr próby według czasu ryzyka – tab. 1):	(14)	(13)	(12)	(11)	(10)	(9)	(21)	(22)	(20)	(18)	(15)
Czas ryzyka [s]	1,8	1,44	1,2	1,0	0,9	0,8	3,0	3,6	2,88	2,4	1,8

Nr próby według kolejności wykonywania:	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
(nr próby według czasu ryzyka – tab. 1):	(4)	(2)	(1)	(3)	(16)	(17)	(19)	(5)	(6)	(7)	(8)
Czas ryzyka [s]	0,45	0,35	0,3	0,4	2,0	2,16	2,7	0,5	0,55	0,6	0,72

Próba o czasie ryzyka 3,0s była próbą nr 7 i była wykonywana po kilku testach o coraz mniejszej wartości czasu ryzyka na poziomie od 1,0 do 0,8 sek. Mogło to wywołać dodatkowy efekt zaskoczenia badanego, widoczny na wykresie. Podobna sytuacja (dużej zmiany parametrów próby) miała miejsce dla próby o czasie ryzyka 0,45s. Próba ta była wykonywana jako 12 bezpośrednio po serii prób o dużych wartościach czasu ryzyka: od 3,6 do 1,8s.

Takie gwałtowane zmiany czasu ryzyka wystąpiły również przy próbach o czasie ryzyka 2,0s (wykonywana po kilku próbach o czasach ryzyka na poziomie 0,3-0,4s) oraz 0,5s (bezpośrednio po próbach o czasie ryzyka na poziomie 2,7s). Co ciekawe, w przypadkach tych nie zaobserwowano tak widocznych zmian wartości średnich i odchyłeń standardowych czasu reakcji.

Interesujące okazało się również spostrzeżenie dotyczące zjawiska nazwanego roboczo przez autorów „efektem pierwszej próby“. We wcześniej realizowanych badaniach uzyskiwano w początkowych przejazdach wartości czasu, które odbiegały znacząco od opisywanego trendu (były większe) [10, 11]. Tutaj tego efektu nie zaobserwowano. Przyczyną takiego stanu rzeczy mogło być to, że uczestnicy mieli już wcześniejsze doświadczenia z tego rodzaju testami. Wystąpił u nich czynnik związany z „przystosowaniem“ do symulatora i aranżacji sytuacji wypadkowej. Innym czynnikiem, który brano pod uwagę to względne uproszczenie omawianego scenariusza w stosunku do scenariuszy I i II. W praktyce jedyną możliwością działania kierowcy było gwałtowane hamowanie.

Wartości czasu reakcji psychicznej były na zbliżonym poziomie do uzyskanych we wcześniejszych scenariuszach (np. [10, 11]), gdzie kierowca mógł dodatkowo ominąć przeszkodę.

Na rysunku 6 pokazano wartości średnie oraz odchylenia standardowe czasu reakcji psychomotorycznej (czasu reakcji na pedale hamulca) w funkcji czasu ryzyka. Pod względem jakościowym zależności pokazane na tym rysunku okazały się analogiczne do przedstawionych na rys. 5, przy czym uzyskiwane wartości były większe. Średnie wartości czasu reakcji psychomotorycznej zmieniały się w zakresie od 0,42 ÷ 0,92 s. Wartości odchylenia standardowego zawierały się w przedziale od ok. 0,05 ÷ 0,29 s. W tym przypadku tendencja do „ustabilizowania” się na stałym poziomie wartości średnich i odchyłeń standardowych dla zakresu małych wartości czasu ryzyka była jednak słabiej widoczna.

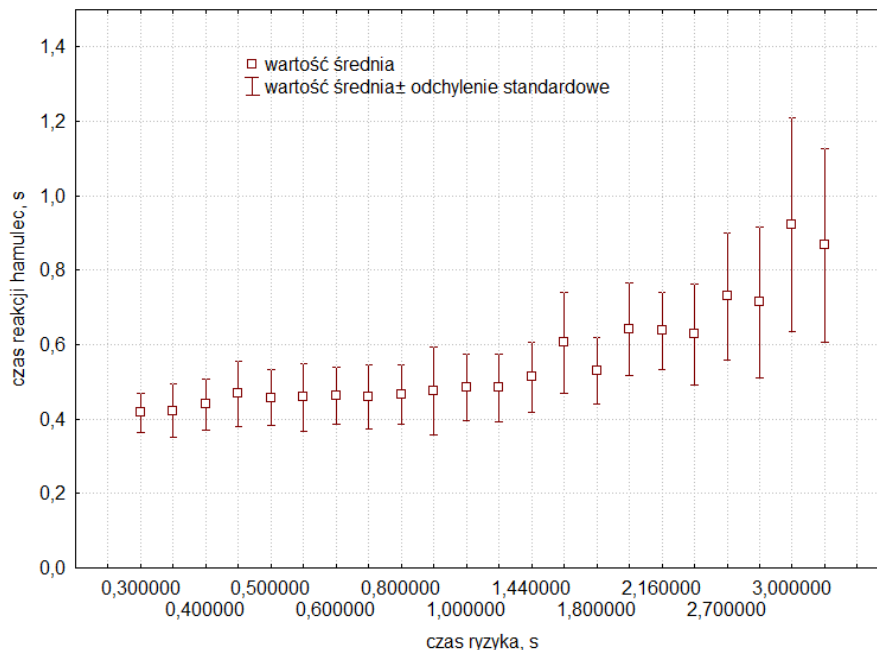
Wystąpiła bardzo duża zmienność skupienia rozkładu wartości czasu reakcji wokół wartości średniej. Miarą tego skupienia były wartości odchylenia standardowego. Jego największa wartość była niemal 6-krotnie większa od wartości najmniejszej.

Zaobserwowano również w tym przypadku opisywane wcześniej odstępstwa od ogólnego trendu, dla próby o czasie ryzyka 3,0 s i w mniejszym stopniu również dla próby 0,45 s.

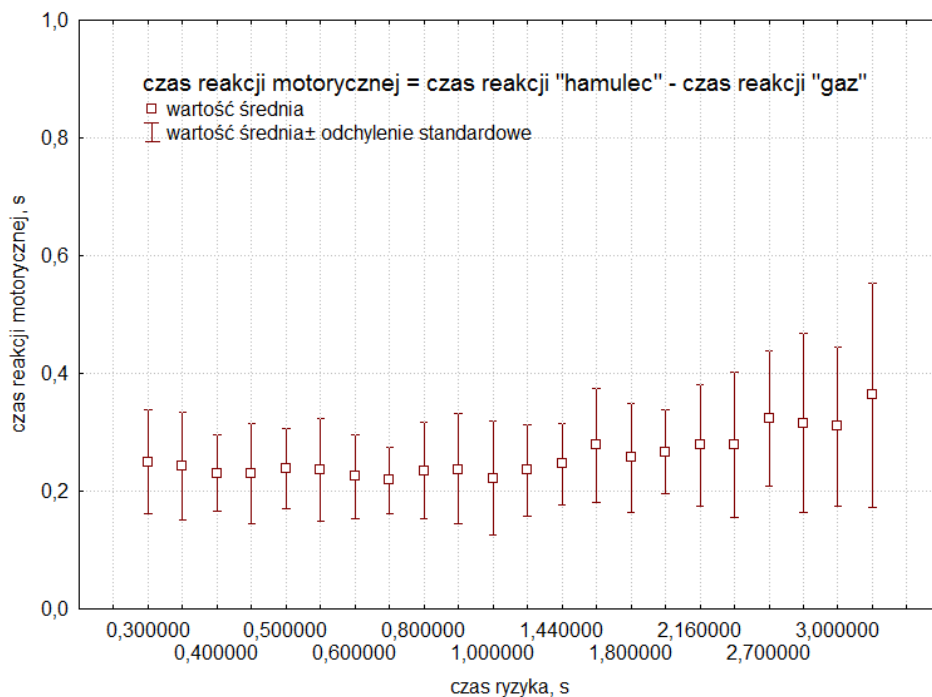
Odnosząc wyniki tego badania do wyników uzyskanych w innych scenariuszach [10, 11] również stwierdzono duże podobieństwo przebiegów. W przypadku scenariuszów I i III zakresy zmian czasu reakcji praktycznie się pokryły.

Wartości czasu reakcji motorycznej pokazano na rysunku 7. Wartości średnie tej reakcji zmieniały się, dla badanego zakresu czasu ryzyka, od $0,20 \pm 0,34$ s, zaś odchylenia standardowe zawierały się w przedziale około $0,04 \pm 0,15$ s. Dla czasu ryzyka większego od 1,0 s zaobserwowano wyraźny trend wzrostowy zarówno dla wartości średnich, jak i dla odchyłeń standardowych. Dla mniejszych wartości czasu ryzyka, zarówno wartości średnie jak i odchylenia standardowe czasu reakcji motorycznej były w przybliżeniu stałe (średnia na poziomie ok. 0,2 s; odchylenie $0,04 \pm 0,06$ s). Interesującym faktem był brak w przypadku reakcji motorycznej odstępstw od ogólnego trendu dla czasów ryzyka 3,0 i 0,45 s.

Porównując wyniki badań dla scenariusza III z efektami wcześniejszych prób (scenariusze I i II) stwierdzono duże podobieństwo przebiegów zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym [10, 11].



Rys. 6. Czas reakcji psychomotorycznej (czas reakcji „hamulec“) w funkcji czasu ryzyka



Rys. 7. Czasy reakcji motorycznej kierowców w funkcji czasu ryzyka

4. Podsumowanie

Prezentowane wyniki badań kierowców dla rozpatrywanego scenariusza sytuacji wypadkowej potwierdzają opinie, że sytuację wypadkową można charakteryzować parametrem, jakim jest czas ryzyka. Podobnie jak we wcześniej prowadzonych badaniach [6, 7, 8, 25] na mniej licznej populacji badanych oraz w badaniach prowadzonych dla sytuacji wypadkowych (tak zwane scenariusze I i II [10, 11, 28]) wraz ze wzrostem czasu ryzyka rosną nie tylko wartości średnie wszystkich prezentowanych czasów reakcji, lecz także wartości odchyłeń standardowych, czyli wzrasta ich zróżnicowanie - rozproszenie rozkładu czasów.

Drugim ważnym spostrzeżeniem jest ilościowe podobieństwo wyników uzyskanych w opisanym badaniu hamowania awaryjnego do wyników uzyskanych w scenariuszach (I i II). Wartości średnich czasów reakcji na pedale przyspieszenia, na pedale hamulca oraz reakcji motorycznej są na zbliżonym poziomie dla danych czasów ryzyka we wszystkich scenariuszach.

Ostatnia uwaga dotyczy zastosowanego narzędzia badań – symulatora jazdy samochodem. Doświadczenia zdobyte w toku prowadzenia opisanych badań wskazują, że może być dobrym narzędziem służącym do oceny zachowania się kierowców w sytuacjach zagrożenia w ruchu drogowym [4]. Pomimo wielu wad (animowany obraz, brak bodźców bezwładnościowych w statycznym symulatorze autoPW, „sztuczność sytuacji”), wyniki uzyskiwane przy jego pomocy stanowią ważne źródło informacji o zachowaniu się kierowców w takich sytuacjach. Można w nim realizować testy, które w warunkach rzeczywistych są niemożliwe do wykonania lub niebezpieczne [1, 29]. Z drugiej jednak strony, stosowanie symulatora będzie w pełni uzasadnione po sprawdzeniu czy istnieje korelacja między wynikami otrzymanymi na tym urządzeniu, a testami wykonywanymi na torze badawczym. Jej obecność wykazano wcześniej dla wartości średnich czasów reakcji [6, 13]. Należy przeprowadzić analizy sprawdzające, czy istnieje również korelacja dla wielu testów wykonanych z udziałem jednego kierowcy w obu środowiskach badawczych.

W pracy uwagę skupiono się na czasie reakcji kierowcy związanym z realizacją procesu hamowania awaryjnego. Zgromadzona w trakcie badań liczba danych umożliwia dużo szerszą analizę zachowania kierowcy. Prace takie są w toku. Dotyczą one zróżnicowania czasu na różnych elementach sterowania pojazdem (pedały: przyspieszenia, sprzęgła, koło kierownicy). Analizowany jest także sposób reakcji, jej „intensywność” oraz skuteczność dla danych parametrów charakteryzujących zdarzenie (scenariusz, czas ryzyka, prędkość, odległość od przeszkody itp.) . Uwzględniane są cechy osobnicze badanych – wiek, posiadane kwalifikacje zawodowe, doświadczenie w prowadzeniu pojazdów itp. Częstkowe wyniki tych analiz opublikowano w [9, 10, 11, 15, 26, 27, 28].

Literatura

1. Allen R. W, Cook M. L, Rosenthal T. J, Application of driving simulation to road safety. *Advances in Transportation Studies*. Publisher: University Roma Tre, ISSN: 1824-5463. Special Issue 2007, 12: 5-8.
2. Burckhardt M, Burg H. Die Brems-Reaktionsdauer von Pkw-Fahrer. *Der Verkehrsfall* 1981, 12: 224-235.
3. Chodnicki P, Guzek M, Lozia Z, Mackiewicz W, Stegienka I. Statyczny symulator jazdy samochodem autoPW, wersja 2003. *Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika* 2004; 79: 157-164.
4. De Winter J. C.F, De Groot S, Mulder M, Wieringa P. A, Dankelman J, Mulder J.A, Relationships between driving simulator performance and driving test results. *Ergonomics* 2009, 52(2): 137-153.
5. Fröming R. Assesment of Integrated Pedestrian Protection System. PhD thesis. *Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik* 2008,681.
6. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Stańczyk T. L. Comparative analyses of driver behaviour on the track and in virtual environment. *Driving Simulation Conference Europe, DSC 2006 Europe, Paris, October 2006*: 221-232.
7. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Stańczyk T. L. Badania kierowców na torze i w środowisku wirtualnym. *Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce* 2006r., 84; 195-206.
8. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Stańczyk T. Badania zachowania kierowców w sytuacjach przedwypadkowych realizowane w symulatorze jazdy samochodem. *Konferencja Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 27-29 października 2006r.*: 157-171.

9. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Stańczyk T. L, Zdanowicz P. Research on behaviour of drivers in accident situation conducted in car driver simulator” Journal of KONES. Powertrain and transport 2009; 16: 173-184
10. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Karendał M, Zdanowicz P. Badania reakcji kierowców na pieszego wychodzącego z prawej strony, realizowane w symulatorze jazdy samochodem; Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2010; 6, wersja CD
11. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Stańczyk T. L, Zdanowicz P. Badania reakcji kierowców na pojazd wyjeżdżający z prawej strony, realizowane w symulatorze jazdy samochodem; Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 2010; 77, 129-139.
12. Guzek M, Lozia Z, Pieniążek W. Weryfikacja eksperymentalna modelu symulacyjnego stosowanego w symulatorze jazdy samochodem. Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 1999; 34, 69-87.
13. Jurecki R. S. Modelowanie zachowania kierowcy w sytuacjach przedwypadkowych. Rozprawa doktorska. Politechniki Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Kielce 2005r.
14. Jurecki R, Stańczyk T. L. Driver model for the analysis of pre-accident situations. Vehicle System Dynamics 2009; 47 (5), 589-612.
15. Jurecki R, Stańczyk T. L. The test methods and the reaction time of drivers, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2011; 3: 84-91.
16. Kisilowski J, Zalewski J. Wybrane problemy analizy przyczyn wypadków drogowych w Polsce w latach 1995-2004. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2008; 1: 37-43.
17. Lozia Z. Symulatory jazdy samochodem. WKŁ, Warszawa, 2008.
18. Lozia Z. Model symulacyjny ruchu i dynamiki samochodu dwuosioowego, wykorzystywany w symulatorze. Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999; 4(34): 37-51.
19. Materiały informacyjne Komendy Główna Policji, Wypadki drogowe – raporty roczne, [online: <http://dlakierowcow.policja.pl/>, dostęp: 2011-11-25]
20. Materiały informacyjne Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (KRBRD) [online: http://www.krbrd.gov.pl/stan_brd/, dostęp: 2011-11-25]

21. Magister T, Krulec R, Batista M, Bogdanović L. The driver reaction time measurement experiences. Innovative Automotive Technology – IAT'05, Bled, 21st-22nd April 2005.
22. McGehee D.V, Mazzae E.N, Baldwin G.H.S. Driver reaction time in crash avoidance research: validation of a driving simulator study on a test track. Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (IEA 2000), San Diego/USA 2000: 6.
23. Muttart J.W. Driver response in various environments estimated empirically. Materiały Konferencji "Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych". Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych Kraków, 2004.
24. Rotter T. Metodyka psychologicznych badań kierowców – wersja znowelizowana; Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2003r.
25. Stańczyk T. L, Jurecki R. Czasy reakcji kierowców w stanach zagrożenia wypadkowego. Materiały III Konferencji "Rozwój techniki samochodowej a ubezpieczenia komunikacyjne" Radom, 2006. Wyd. WSB im. J. Chrapka: 321-348.
26. Stańczyk T. L, Jurecki R. Fahrreaktionszeiten in Unfallrisikosituationen – neue Fahrbahn- und Fahr Simulatorversuche, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 2008; 07-08: 235 – 246.
27. Stańczyk T, Jurecki R, Pieniążek W, Jaśkiewicz M, Karendal M, Wolak S. Badania reakcji kierowców na pojazd wyjeżdżający z prawej strony, realizowane na torze samochodowym. Zeszyty Instytutu Pojazdów Warszawa 2010; 77: 307-320.
28. Stańczyk T. L, Lozia Z, Pieniążek W, Jurecki R. S. Badania reakcji kierowców w symulowanych sytuacjach wypadkowych, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej Warszawa 2010; 77: 27-52.
29. Strayer D. L., Drews F. A., Crouch D. J., A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. Human Factors 2006; 48: 381. (<http://hfs.sagepub.com>).
30. Symulator jazdy samochodem autoPW [online: <http://www.it.pw.edu.pl/autopw/>; dostęp: 2011.11.30]
31. Törnros J. Effect of driving speed on reaction time during motorway driving. Accident Analysis and Prevention 1995, 27(4): 435-442.

32. Wang B, Abe M, Kano Y, Influence of driver's reaction time and gain on driver-vehicle system performance with rear wheel steering control systems: part of a study on vehicle control suitable for the aged driver, JSAE Review 2002; 23 (1): 75-82.
33. Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. Praca zbiorowa. Wyd. IES Kraków 2002.