

Rafał S. JURECKI
Marek JAŚKIEWICZ
Marek GUZEK
Zbigniew LOZIA
Piotr ZDANOWICZ

DRIVER'S REACTION TIME UNDER EMERGENCY BRAKING A CAR – RESEARCH IN A DRIVING SIMULATOR

CZAS REAKCJI KIEROWCY W WARUNKACH AWARYJNEGO HAMOWANIA SAMOCHODU – BADANIA W SYMULATORZE JAZDY SAMOCHODEM*

Extract. The paper presents results of research on the reaction time of drivers of motor vehicles in case of accident risk. These studies have been conducted in an autoPW driving simulator - research project N509 016 31/1251. During a simulated pre-accident situation, a test driver, as he was trying to avoid a collision with an obstacle, has been forced to perform a braking manoeuvre. 107 people of different age and driving experience have been studied. Various scenarios describing risk situations (the speed of a car driven by a tested driver, the distance between the vehicles at the initial moment) have been considered. Reaction times were determined at the controls of the vehicle and they have been presented in a time to collision function. The presented results provide important information on the analysed subject (for instance reaction time dependence on risk time). They have also confirmed the usefulness of this type of simulation studies in connection with the possibility of fairly accurate reproduction of the environment appearance and an event scenario in relation to possible real situations.

Key words: tests of drivers, drivers' reaction time, risk time, car driving simulators.

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.

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

1. Introduction

According to statistical data, for instance [16, 19, 20], the most common cause of road accidents are persons driving the vehicles. It has been estimated that approximately 70% of accidents in Poland is a result of incorrect operation of a driver. Reaction time has been among the many features that characterize its function in the event of accident risk on a road. In short, it can be defined as the period from the time a threat appears to the moment a driver takes certain actions on vehicle controls to avoid an accident.

This parameter has a direct impact on the course of an accident situation, and road safety at the same time. On the other hand, it is one of the basic data adopted in the calculations carried out by experts from automotive and traffic engineering (and court experts) in the process of reconstructing accidents. The results of this analysis depend on values adopted in these calculations, which in turn, influence court's decisions concerning guilt of participants of the event or its absence. From both points of view, research on reaction time are thus fully justified.

The paper presents selected results of extensive research, conducted throughout 2007-2010, whose primary purpose was to gather particular reaction times. These studies have been conducted by three teams: the Kielce University of Technology (leader), the Technical University of Warsaw and Cracow University of Technology, under project no. N509 016 31/1251 "Development and update of the reaction times database of vehicle drivers."

2. Justification of the need to test reaction time

Data on drivers' reaction times are crucial in the manuals and training materials for court experts and automobile engineering and traffic experts. Values presented in many publications differ significantly. However, as mentioned earlier, values adopted in the analysis by a court expert may strongly influence final decisions on drivers's fault.

(*) Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny w elektronicznym wydaniu kwartalnika na stronie www.ein.org.pl

These differences often result from a variety of research methodologies (tool - test environment, test methodology, the multiplicity and "composition" of a focus group, the way of presenting results). From the perspective of usefulness for the accident reconstruction, it should be noted that no method developed so far could clearly be regarded as the best.

Generally, there are three methods (research environment) used for this type of research:

- stands for qualifying tests of drivers (used in the laboratories of transport psychology),
- experiments on roads or research/test tracks,
- research in driving simulators.

Evaluating reaction time in psycho-technical research is one of the sets of tests performed in the laboratories of psychology which are aimed at assessing general capacity of a tested driver within the scope of driving a car. These studies are characterized by a number of years of worked-out methodology and methods of assessing their results, for instance [22]. Reflection meters are used in the case of reaction time. Reaction time is estimated as the period from the onset of the light or sound stimulus to the moment of pressing a button on the desktop.

In the case of data from experiments on road or test tracks, these are often the results of reaction to so-called simple stimulus (a single tone or light), but the way drivers reacted is also simplified - it has to work on one of the vehicle controls (pedal brake, hand brake lever or steering wheel), [2, 5, 21, 31, 32]. The results of such research are often published as a recommendations to the experts, for instance [2, 33].

In real road situations (for instance, driving off in the column on a motorway, where the reaction takes place to the light "stop" before the car), a driver reacts to a complex stimulus. However, in the literature prior to 10-15 years, it is difficult to find data concerning reaction times, in which both the stimulus and the reaction of a driver are complex (as in real life accident situations). So far, studies carried out complex reactions to stimuli, but they were often highly simplified situations. For instance, in [5, 21], in studies of the reaction to a complex stimulus stimulator's lights stuck on the windscreen were used. In recent years, studies on the roads or tracks rely more often on the implementation of specified accident scenarios that were considered representative. The authors in previous papers [6, 13, 25, 26] presented this type of testing.

At this point the "observation" study in real traffic should also been mentioned. These studies often rely on analysis of records of a camera (for instance, monitoring) placed on the roads [23]. Results of evaluation (reaction time) here, however, strongly depend on observer's arbitrary assumptions as to the time of the initial emergency situation, and therefore the stimulus.

Development of simulation techniques, increase of computer and systems productivity to generate images allowed to use virtual research environment for testing drivers - driving simulators. Their use increases the independence of weather conditions, promotes the growth of reproducibility of results and test conditions [6, 17, 22]. It also allows for implementation of virtually any scenario without jeopardizing safety. Moreover, the experience of the authors indicate a strong correlation of research results in a simulator and a real car on a test track [6, 13].

To conclude this brief review of the literature, it can be stated that there is a need for research in which the reaction times will be determined not to a stimulus or the system of simple stimuli, but to a certain simulated risk accident situation. The number of available results in the literature for this type of testing is low and comprise a selection of special cases.

3. Tests characteristics

The project carried out research for three selected scenarios for risk accident situations. They have been conducted both on Kielce Track, as well as in an autoPW driving simulator. A common feature of the scenarios was the obstacle appearing suddenly and with further reduced visibility. The scenarios differed in the type of an obstacle (car, pedestrian, a set of tractor-trailer), the nature of traffic obstacles and other elements on the road, which influenced the complexity of the situation. Over 100 people have been tested in each scenario. As already mentioned, both track and simulator tests have been performed on tested drivers. Moreover, in both research environments, tests were made for different values of initial risk time conditions (ratio of the distance from the obstacle to the speed of a car being driven by test driver).

This paper presents the results for the third scenario, which was performed in an autoPW driving simulator. Test sample has been shown in Figure 1.

In an attempt mapped a situation in which a truck (a set of tractor-trailer) passed perpendicularly through the crossroads of two-lane carriageway in such a way that both lanes were blocked. The view of a transverse road has been severely limited. The road barriers were set on the left lane with typical markings for road works. The task of drivers during the research was an attempt to avoid a collision with an obstacle, but the way to do it has not been imposed on them. The method of arranging the situation in practice, eliminated the option of choosing another defensive manoeuvre than the emergency braking (so-called emergency brake). Such an accident situation scenario was introduced as a result of the analysis of previous work by the authors [6, 7, 25, 26] and consultations with experts in the field of traffic accident reconstruction. The experts and court experts stressed the need to conduct studies in which the only reaction is hard braking, because regardless of the nature of the accident situation, it is definitely the most common defensive manoeuvre used by drivers.

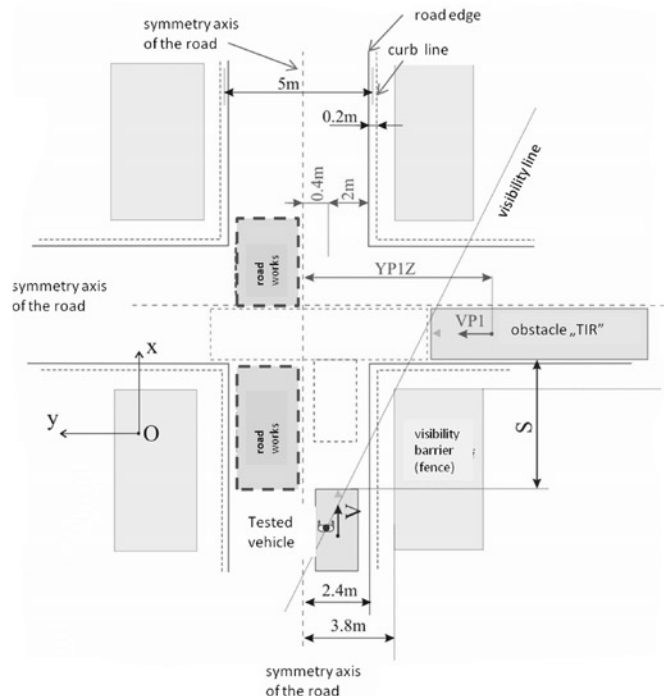


Fig. 1. Sample scheme for simulator tests (for scenario III)

For comparison, in the other scenarios that have been considered, the overall concept of the situation was similar – an obstacle which suddenly appears from the right side (car and pedestrian) at

the crossroads. The avoidance manoeuvre was possible in the above-mentioned situations.

The study was carried out in an autoPW driving simulator, built and operated at the Department of Transport, Warsaw University of Technology [3, 17, 30]. It is the laboratory stand which allows the testing of drivers in staged traffic conditions, even in pre-accident traffic situations [3, 8, 9, 17, 30].

Basic elements of the simulator:

- natural drivers's cab coming from a middle class car with a set of equipment, the main screen and a secondary (side) on which is displayed (using a projector) an image seen through the windscreen (the viewing angle in the horizontal plane is over 90 degrees), the arrangement of position sensors of the vehicle controls (accelerator, brake, clutch, gear lever, switches, dashboard),
- computer chip simulator and data acquisition system for the exchange of information between the sensors and the computer system.

Vehicle motion is simulated in a computer system based on data from the sensors (which measure the values that characterise drivers), and data describing the vehicle and road conditions. The image seen by the driver is generated according to his actions and planned surrounding scenery, sound effects and state of the dashboard indicators. The activities of the tested driver are monitored and recorded. The autoPW simulator is a static type and the cab of the vehicle remains still during simulator operation (the driver does not feel body inertial stimuli). The mathematical model of the vehicle used in the simulator [17, 18] describes the dynamics of a vehicle. It has been positively verified experimentally for typical tests recommended by ISO [10]. Details of its construction can be found in sources [3, 17, 30].

Graphic capabilities of an auto PW driving simulator enable accurate graphical model a real crossroads. The crossroads of two streets in Warsaw has been selected for the above-mentioned studies. Images in the simulator were built based on photographic documentation of a crossroads and its surroundings. The geometric-spatial parameters and objects' colours have been reproduced in an exact way.

Studies have been conducted for the data corresponding to a FSO Polonez vehicle. Importantly, the simulator cab came from this car. The possibility of subsequent comparison of results obtained in the simulator for the study on Kielce Track where the same car was used, has also been of importance.

Tests have been conducted on 107 drivers:

- drivers under the age of 25 years - 76 people in a sample;
- drivers between the ages of 26 to 35 years - 11 people in a sample;
- drivers aged 36 to 45 years - 10 people in a sample;
- drivers aged over 46 years - 10 people in a sample.

J Risk time has been taken as the basic parameter characterizing the test. This parameter is described in earlier publications by the authors, for instance [6, 7, 13, 14, 25]. In some English-language publications can be found under the name of TTC (Time To Collision). The

Table 1 Realised risk time values for each sample during the test

Sample no.:	1s	2s	3s	4s	5	6s	7	8	9	10	11
Risk time, [s]	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,72	0,8	0,9	1,0
Speed of a tested vehicle V, [km/h]	60	51,4	45	40	36	65	60	50	45	40	36
Distance from an obstacle in the time of its appearance S, [m]	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10
Sample no.:	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Risk time, [s]	1,2	1,44	1,8	1,8	2,0	2,16	2,4	2,7	2,88	3,0	3,6
Speed of a tested vehicle V, [km/h]	60	50	40	60	36	50	60	40	50	60	50
Distance from an obstacle in the time of its appearance S, [m]	20	20	20	30	20	30	40	30	40	50	50

tests were conducted for 22 risk time values from $0.3 \div 3.6$ obtained as combinations of vehicle speed and distance from the obstacle, that is:

- speed of the tested vehicle: 36, 40, 45, 50, 51.4, 60 and 65 km / h,
- distance from the vehicle when the driver noticed the obstacle: 5, 10, 20, 30, 40 and 50m.

Summary of test parameters has been shown in Table 1.

Figure 2 shows the example of research in the simulator (view "from above"). The sequence shown in these four images (frames) illustrating the course of a sample.

Tests for individual risk times (TTC times) have been randomly (from the standpoint of the test) mixed, while maintaining the same order for each driver. In this way (including the so-called "empty-pass") approximately 2500 tests have been conducted.

The values characterising the tested vehicle, obstacles and values describing drivers's actions on car controls have been recorded. Fig. 3 shows a record of selected parameters for the sample shown in fig. 2 (an interesting aspect was pulsating action of the driver on the brake pedal seen in fig. 3d). These recordings were the basis for the analysis of driver behaviour. This study has been limited to the size of main evaluated value - reaction time.



Fig. 2. Case study sample, risk of 1.8 s duration, vehicle speed 60 km/h, distance from an obstacle 30 m, the attempt ended without collision

4. The analysis of drivers' reaction times

Relationships characterized by reaction times were determined for the entire population of tested drivers. As described earlier, the specifics of the road situation in practice dictated one kind of behaviour: reducing traffic speed without the possibility of bypassing the obstacle. Therefore the following reaction times were determined:

- reaction time on the accelerator, understood as the time from the onset of the obstacle to the beginning of the leg off the ac-

- accelerator pedal, in short: "acceleration" reaction time or mental reaction time ("trg" in Figure 4);
- psychomotor reaction time during braking, as the time from the emergence of obstacles to the onset of force on the brake pedal, in short: "brake" reaction time ("trh" in Figure 4);
- motor reaction time during braking, determined as the time from the start of removing the foot from the accelerator pedal to the onset of force on the brake pedal, in short: motor reaction time ("trm" in Figure 4).

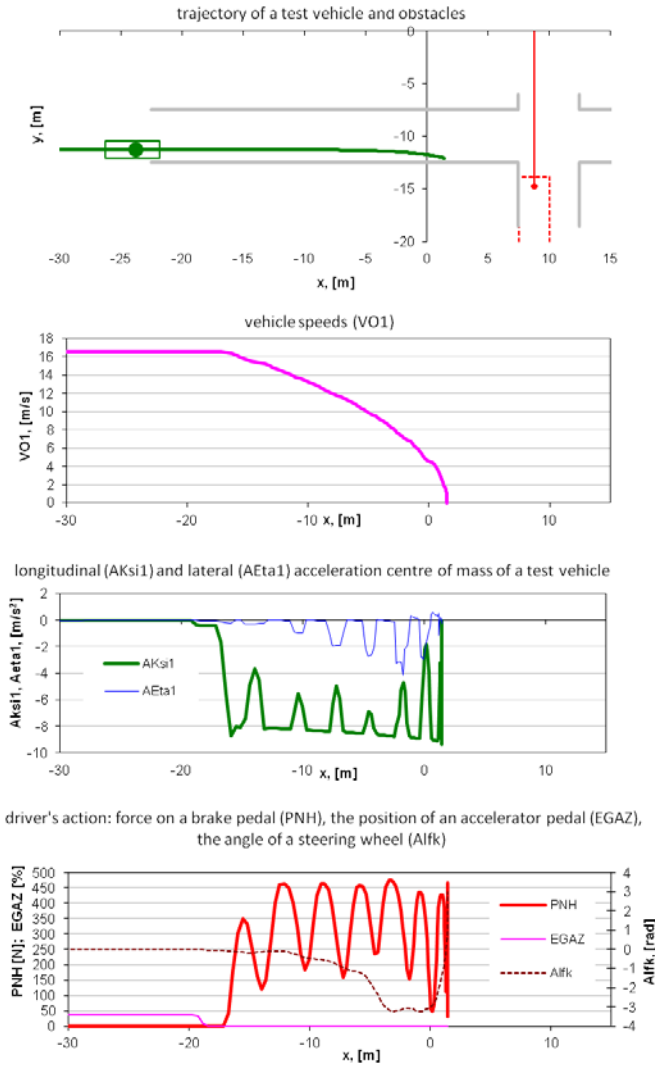


Fig. 3. Selected physical quantities recorded in a sample shown in fig. 2 (risk time 1.8 s), vehicle speed 60 km/h, distance from an obstacle 30 m vehicle speed 60 km/h.

Table 2. Order of tests' realisation

Sample no. according to order of realisation:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(sample no. according to risk time – tab. 1):	(14)	(13)	(12)	(11)	(10)	(9)	(21)	(22)	(20)	(18)	(15)
Risk time [s]	1,8	1,44	1,2	1,0	0,9	0,8	3,0	3,6	2,88	2,4	1,8
Sample no. according to order of realisation:	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
(sample no. according to risk time – tab. 1):	(4)	(2)	(1)	(3)	(16)	(17)	(19)	(5)	(6)	(7)	(8)
Risk time [s]	0,45	0,35	0,3	0,4	2,0	2,16	2,7	0,5	0,55	0,6	0,72

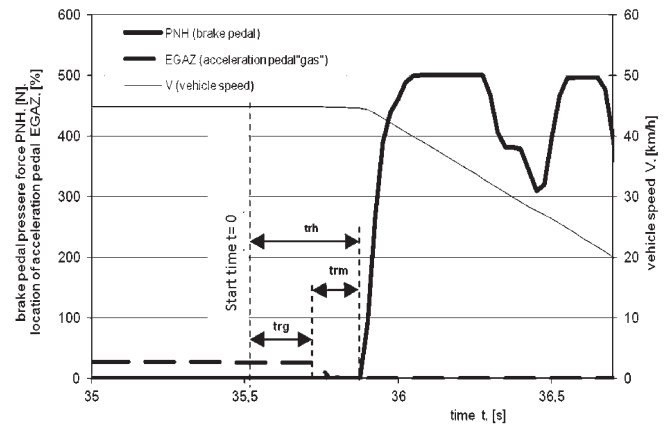


Fig. 4. Excerpts of selected waveforms recorded during a test - illustration of reaction times: trg – accelerator pedal reaction time "gas", trh - "brake" pedal reaction time, trm - motor reaction time

Figure 5 shows the "acceleration" pedal reaction times. The average values of this reaction time varied in the studied range of risk time from approximately 0.25 ÷ 0.6 s

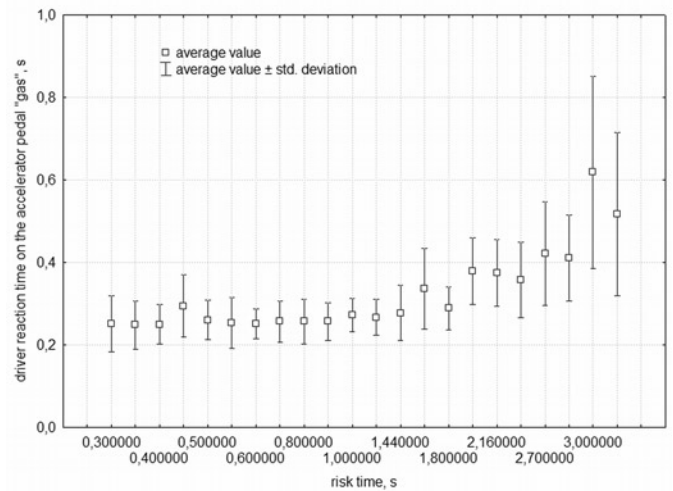


Fig. 5. Acceleration pedal reaction time "gas" in a risk time function

In terms of the risk time value of 0.3 ÷ 1.2 s it can be considered that they have taken approximately constant level of approximately 0.25 s. In terms of risk time over 1.2 s, average reaction time values increased approximately linearly in a risk time function. Similar qualitative conclusions were formulated in relation to standard deviation. For risk time smaller than 1.2 s, the standard deviation was at an approximately constant level, amounting to 0.045 ÷ 0.06 s, and then

began to rise to approximately 0.2 s, for the biggest analysed risk time of 3.6 s.

Deviations from described regularities occurred for risk times: 3.0 s 0.45s. For these tests the average and standard deviation values have taken a noticeably greater values than would appear from the trends described. Explanations of this phenomenon can be sought in the order of test implementation. As mentioned earlier, tests for subsequent risk time values have been mixed, but the same order for each of their drivers has been retained.

Schedule for each test are shown in table 2. This table identifies four specific tests, of whose distinctive feature was a big change of parameters compared to the previous test (mainly risk time).

The test of 3.0 s risk time was an attempt no. 7 and was performed after a few tests of increasingly less risk time value at the level of 1.0 to 0.8 sec. This could result in an additional surprise effect of a tested driver, as shown in the chart. A similar situation (large changes in the parameters of the sample) was at the test of 0.45 s risk time. This test was performed as no. 12 immediately after a series of tests with large values of the risk time: from 3.6 to 1.8 s

This time, the rapid changes in risk time also appeared with tests 2.0 s risk times (performed after several tests at risk times of 0.3-0.4 s) and 0.5 s (immediately after the tests of 2.7 s risk time). Interestingly, in these cases there were no visible changes of average values and standard deviations of reaction time.

Interesting was also the observation of phenomena tentatively named by the authors' "first attempt to effect". Previously conducted studies at initial drive time values, which differed significantly from the described trend (were larger) [10, 11]. Here, this effect has not been observed. The reason for that could be that the participants already had previous experience with this type of testing. We could observe a factor associated with the "adaptation" to the simulator and the arrangement of the accident situation. Another factor that has been considered was a relative simplification of this scenario in relation to the scenarios I and II. In practice, the only option of a driver was a violent braking reaction.

Mental reaction time values were at a similar level to that achieved in previous scenarios (for instance [10, 11]), where the driver can also bypass the obstacle.

Figure 6 shows the average values and standard deviations of psycho-motor reaction time (reaction time on the brake pedal) in a risk time function. Qualitatively, dependences shown in this figure were similar to those shown in fig. 5, however, the values obtained were higher. Average values of psycho-motor reaction time varied in the range of $0.42 \div 0.92$ s. Standard deviation values ranged from approximately 0.05 to 0.29 s. In this case the tendency to "stabilize" at a constant level of average values and standard deviations for the range of small risk time values was less evident. There was a large variation of concentration of reaction time distribution values around the average value. The measure of this concentration were the standard deviation. Its greatest value was almost 6-fold greater than the smallest value.

The described earlier deviation from the general trend also observed for the test of 3.0 s risk time and to a lesser extent also for .45 s test. Regarding the results of this study to the results obtained in other scenarios [10, 11] very similar waveforms were also found. In the case of scenarios I and III ranges changes the reaction time have almost overlapped.

Motor reaction time values have been shown in figure 7. Average values of this reaction varied, for the investigated time range of risk time, from $0.20 \div 0.34$ s, while standard deviations ranged around $0.04 \div 0.15$ s. For risk time greater than 1.0 s was observed a clear upward trend for both the average values, as well as for standard deviations. For smaller risk time values, both average values and standard deviations of the motor reaction time were approximately constant (average of around 0.2 s; deviation of $0.04 \div 0.06$ s). An interesting fact was

that in case of motor reaction, there was the lack of deviations from the general trend for the risk 3.0 times and 0.45 s.

Comparing the results for Scenario III with the effects of previous tests (scenarios I and II) waveforms were very similar both qualitatively and quantitatively [10, 11].

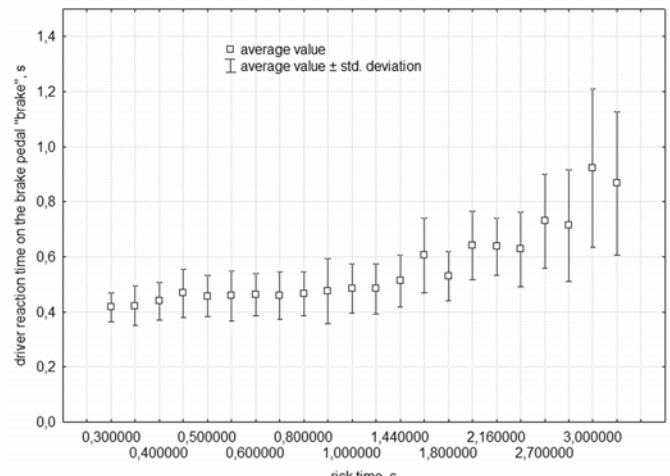


Fig. 6. Psychomotor reaction time (reaction time "brake") in a risk time function

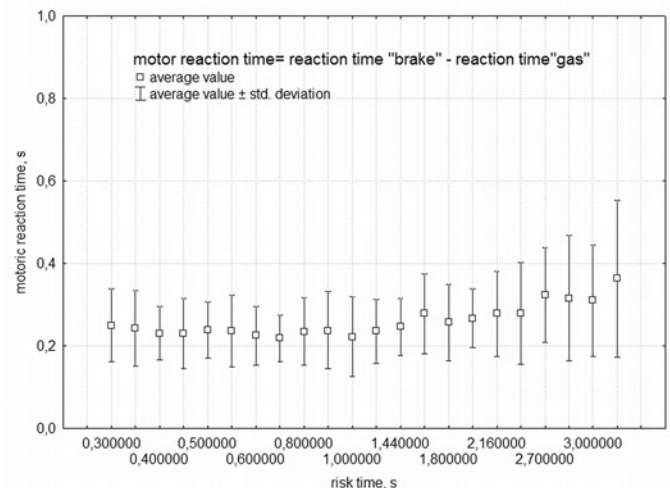


Fig. 7. The reaction times of drivers' motor reaction in risk time function

5. Summary

The presented results of drivers' tests for a particular scenario of an accident situation, support the view that the accident situation can be characterized by a risk time parameter. Similarly, as in previously conducted studies [6, 7, 8, 25] on smaller population of tested drivers and the research carried out for accident situations (the so called I and II scenarios [10, 11, 28]) the higher the risk time, the higher not only presented average reaction times but also the standard deviations that is their diversity increases - the dispersion of times distribution.

Another important observation is the quantitative similarity of the results obtained in the study of emergency braking to the results obtained in the scenarios (I and II). Average values of reaction times on the accelerator, the brake pedal and the motor reaction are at a similar level for particular risk times in all scenarios.

The last remark concerns the applied research tool - a driving simulator. The experience gained in the course of this study suggest that it might be a good tool to assess the behaviour of drivers in dan-

gerous traffic situations [4]. Despite the many flaws (animated image, lack of inertial stimuli in an autoPW static simulator, "the artificiality" of the situation), the results obtained with its help provide important information about the behaviour of drivers in such situations. In this simulator you can perform tests that in the real world are not feasible or dangerous [1, 29]. On the other hand, the use of the simulator will be fully justified after checking whether there is a correlation between the results obtained on this unit and performed tests on a test track. Its presence has been demonstrated previously for the average reaction time [6, 13]. Analysis should be conducted to verify whether a correlation exists also for a number of tests carried out with one driver in both environments.

This paper concentrates on the drivers's reaction time associated with the implementation of the process of emergency braking. The amount of gathered data during the investigation allows a much wider analysis of driver behaviour. Such works have been in progress. They concern the variation of time on different parts of the vehicle controls (pedals: accelerator, clutch, steering wheel). The analysis also concern the way of reaction, its "intensity" and the efficiency for the parameters characterizing the event (scenario, risk time, speed, distance from an obstacle, etc.). Intra-individual characteristics of respondents - age, professional qualifications, experience in driving, etc. have also been taken into account. The partial results of these studies were published in [9, 10, 11, 15, 26, 27, 28].

Bibliography

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 Verkehrsunfall* 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 Grott 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. Assessment 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. Analysis of drivers on the track and in virtual environment. *Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2006r.*, 84; 195-206.
8. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Stańczyk T. Analysis of drivers' behaviour in pre-accident situations conducted in a driving simulator. *Conference of the Forensic Study Institute IES, 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, Karendal 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. Analysis of drivers' reactions to a vehicle approaching from the right side, carried out in a driving simulator, *Warsaw University of Technology Scientific Papers* 2010; 77, 129-139.
12. Guzek M, Lozia Z, Pieniążek W. Experimental verification of a simulation model used in a driving simulator. *Warsaw University of Technology Scientific Papers* 1999; 34, 69-87.
13. Jurecki R. S. Modeling driver's behaviour in preaccident situations. The doctoral dissertation. *Kielce University of Technology, Faculty of Mechatronics and Machine Building, 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. Selected problems of analysis of the causes of road accidents in Poland in the years 1995-2004. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2008; 1: 37-43.
17. Lozia Z. *Driving simulators*. WKŁ, Warszawa, 2008.
18. Lozia Z. Simulation model of movement and dynamics of a two-axle vehicle, used in the simulator. *Papers of the Institute of Vehicles - Warsaw University of Technology, Warszawa* 1999; 4(34): 37-51.
19. Information materials of the Police Main Headquarters, Road accidents – annual reports, [online: <http://dlakierowcow.policja.pl/>, access: 2011-11-25].
20. Information materials of the National Board of Traffic Safety (KRBRD) [online: http://www.krbrd.gov.pl/stan_brd/, access: 2011-11-25].
21. MA 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 reaction in various environments estimated empirically. *Materials of the conference entitled "Problems of traffic accident reconstruction."* Publisher: the Forensic Institute Kraków, 2004.
24. Rotter T. *Methodology of psychological tests of drivers - a revised version*, the Institute of Road Transport, Warszawa 2003r.
25. Stańczyk T. L, Jurecki R. The reaction times of drivers in emergency accident situations. *Materials of III Conference entitled "Development of automotive technology vs. communication insurance"* 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. Analysis of drivers' reactions to a vehicle approaching from the

- right side, carried out on a car track. Papers of the Institute of Vehicles Warszawa 2010; 77: 307-320.
28. Stańczyk T. L., Lozia Z, Pieniążek W, Jurecki R. S. Analysis of drivers' reactions in simulated accident situations, Scientific Papers of Warsaw University of Technology - Vehicle Department, 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. autoPW driving simulator [online: <http://www.it.pw.edu.pl/autopw/>; access: 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. Road accidents. Court Expert Handbook. Collective paper. IES Kraków Publishing House 2002.

Rafał S. JURECKI, Ph.D., Eng.

Marek JAŚKIEWICZ, Ph.D., Eng.

Kielce University of Technology

Faculty of Mechatronics and Machine Building

Department of Motor Vehicles and Transportation

Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-143 Kielce, Poland

E-mail: m.jaskiewicz@tu.kielce.pl; rjurecki@tu.kielce.pl

Marek GUZEK, Ph.D., Eng.

Prof. Zbigniew LOZIA, Ph.D., Eng.

Piotr ZDANOWICZ, M.Sc., Eng.

Warsaw University of Technology

Faculty of Transport

Ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Poland

E-mail: mgu@it.pw.edu.pl; lozia@it.pw.edu.pl; zdanowicz@it.pw.edu.pl

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 prostopadle 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,

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.

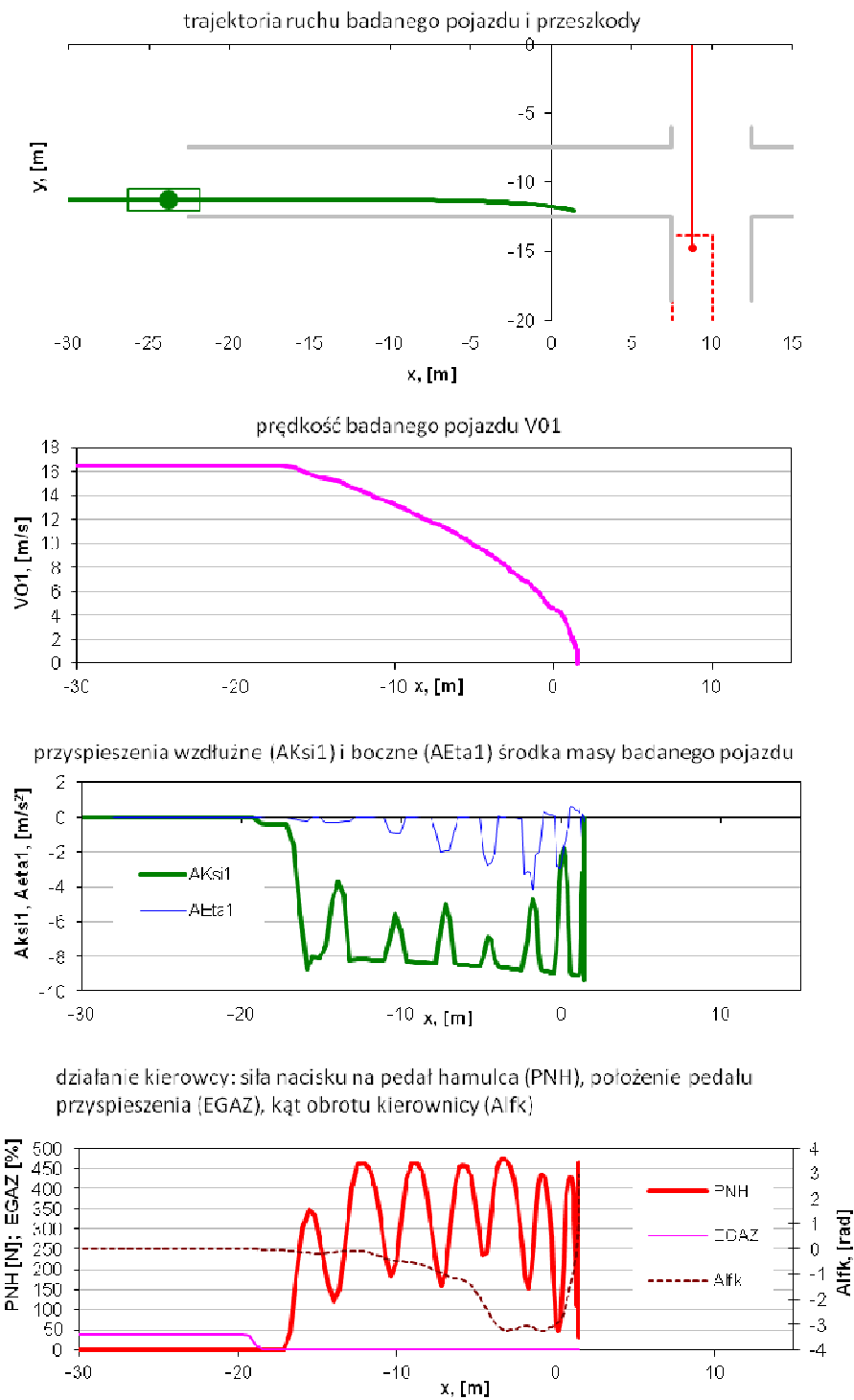


Rys. 2. Przykładowa realizacja próby, czas ryzyka 1,8 s, prędkość pojazdu 60 km/h, odległość od przeszkody 30 m, próba zakończona bez kolizji

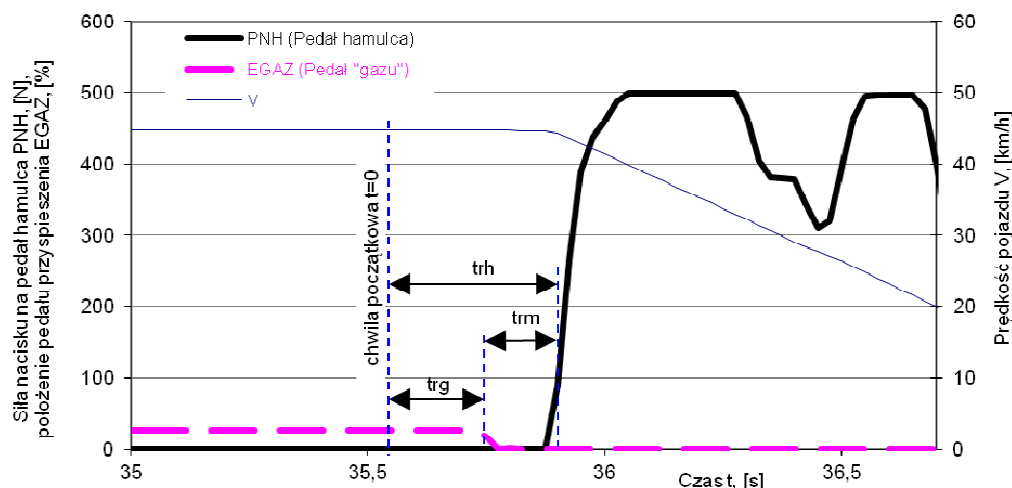
4. Analiza czasów reakcji kierowców

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).

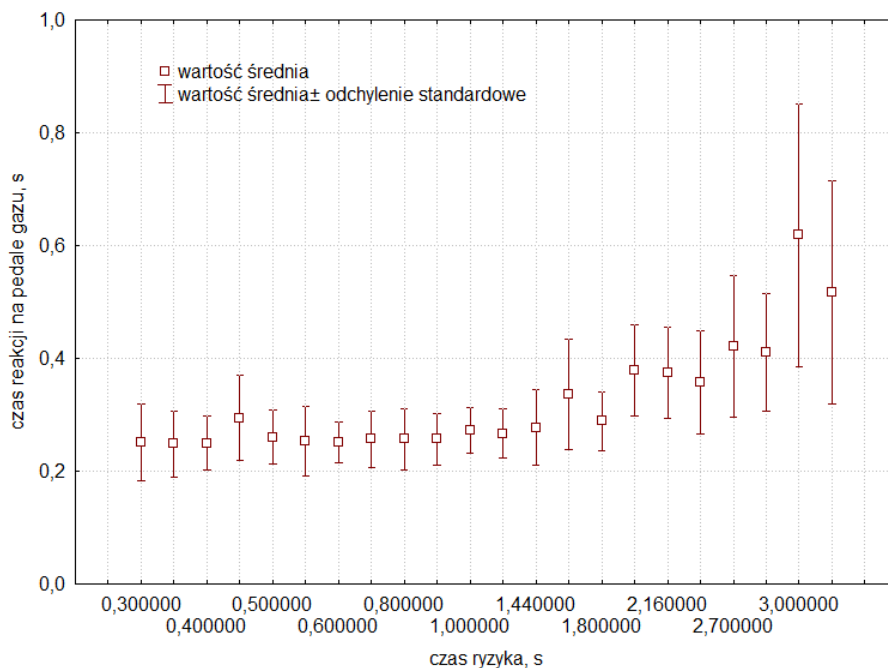


Rys. 3. Wybrane wielkości fizyczne zarejestrowane w próbie pokazanej na rys. 2 (czas ryzyka 1,8 s),
 prędkość pojazdu 60 km/h, odległość od przeszkody 30 m



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.

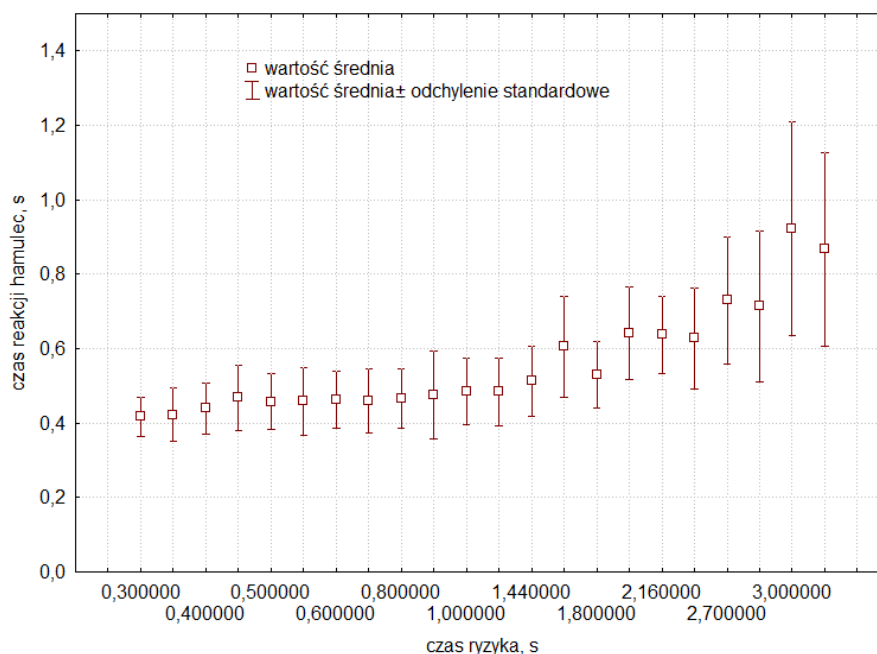
Wystąpiła bardzo duża zmienność skupienia rozkładu wartości czasu reakcji wokół wartości średniej. Miarą tego skupienia były wartości odchylenia standardowego. Jego największa wartość była niemal 6-krotnie większa od wartości najmniejszej.

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.

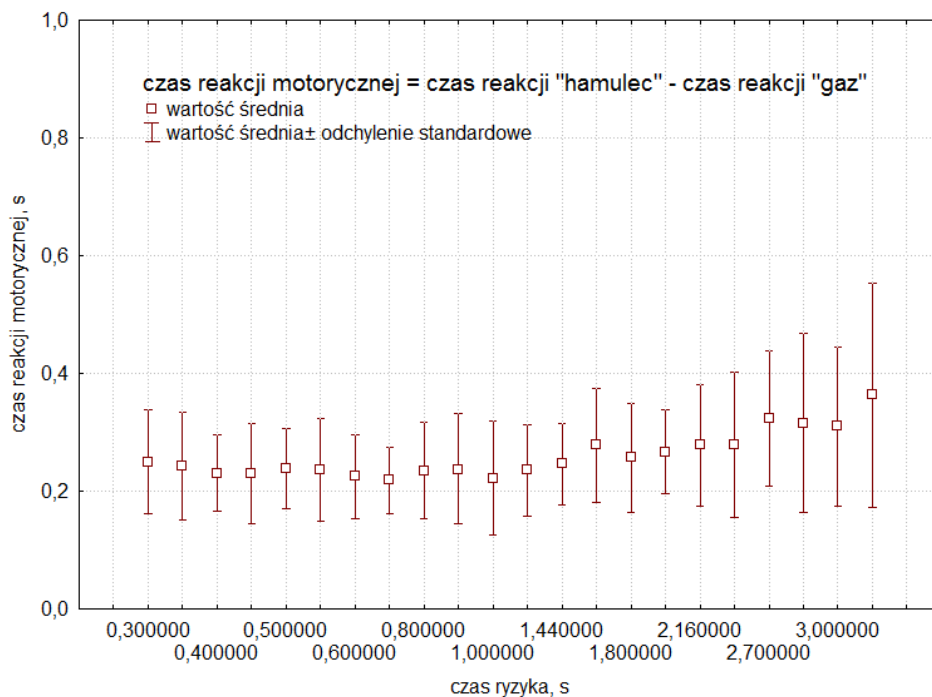
Odnosząc wyniki tego badania do wyników uzyskanych w innych scenariuszach [10, 11] również stwierdzono duże podobieństwo przebiegów. W przypadku scenariuszów I i III zakresy zmian czasu reakcji praktycznie się pokryły.

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 Verkehrsunfall* 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 dwuosiowego, 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.