

OCENA CZASU REAKCJI KIEROWCY NA STANOWISKU autoPW-T

MAREK GUZEK¹

Politechnika Warszawska

Streszczenie

W artykule przedstawione są wyniki badań własnych oceny czasu reakcji, wykonanych na prototypowym stanowisku autoPW-T, zbudowanym na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej. Na stanowisku tym można z jednej strony stosować testy znane z typowych laboratoryjnych „badań psychotechnicznych” (pomiaru na tzw. „refleksometrach”), a z drugiej – oceniać reakcje przy operowaniu rzeczywistymi elementami sterowania samochodem (kierownica, pedały hamulca, przyspieszenie oraz sprzęgło) podczas symulowanej jazdy z zadaną prędkością. Poza krótkim opisem stanowiska i jego możliwości pokazano rezultaty badań około 100 kierowców – porównanie czasu reakcji w trakcie operowania kołem kierownicy i pedałem hamulca. Zaprezentowano wyniki czterech różnych testów: reakcji prostej na kole kierownicy, reakcji prostej na pedale hamulca, reakcji złożonej oraz tzw. „hamowania awaryjnego”. Są one przedstawione w postaci histogramów wartości średnich i odchyień standardowych czasów reakcji dla populacji badanych kierowców oraz innych parametrów statystycznych uzyskanych rozkładów. Wskazano na różnice czasu reakcji w zależności od rodzaju badania, w odniesieniu do miary centralnej rozkładu (wartość średnia) i miary jego rozproszenia (odchylenie standardowe).

Słowa kluczowe: badania kierowców, czas reakcji kierowcy, własności psychofizyczne kierowcy

1. Wprowadzenie

Czas reakcji (lub czas reakcji psychofizycznej) kierowcy to okres od chwili wystąpienia zagrożenia w ruchu drogowym lub chwili jego zauważenia przez kierowcę, do chwili, w której podejmuje on określone działanie w celu uniknięcia kolizji (zacznie oddziaływać na określony element sterowania pojazdem) [1, 2, 7, 8, 9]. Jest on ważnym parametrem w rozważaniach na temat bezpieczeństwa ruchu drogowego (kwestia uniknięcia wypadku/kolizji w powstałych stanach zagrożenia) oraz w zagadnieniach rekonstrukcji wypadków drogowych [7]. Zawodowi kierowcy poddawani są w pracowniach psychologii transportu tzw. „badaniom psychotechnicznym” [2, 10]. Jednym z elementów tych badań jest pomiar czasu reakcji, a wynik tego pomiaru jest jednym z czynników branych pod uwagę w trakcie oceny zdolności do prowadzenia pojazdów przez daną osobę [2, 10]. Pomiaru te są jednak wykonywane w warunkach laboratoryjnych, według bardzo uproszczonych schematów, istotnie różniących się od warunków rzeczywistych (por. np. [6]).

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa,
e-mail: mgu@wt.pw.edu.pl, tel. +48 22 234 85 64.

Zbudowane na Politechnice Warszawskiej stanowisko autoPW-T umożliwia przeprowadzanie testów analogicznych do prowadzonych w pracowniach psychologii transportu, ale w warunkach bardziej zbliżonych do naturalnych dla kierowcy, z wykorzystaniem naturalnych elementów sterowania pojazdem. Możliwa jest ocena czasu reakcji kierowcy w trakcie operowania kołem kierownicy oraz pedałami hamulca, przyspieszenia, sprzęgła oraz innych wielkości charakteryzujących działanie na dany element (np. siła nacisku na pedał hamulca, czas narastania tej siły, czas przeniesienia stopy z pedału przyspieszenia na pedał hamulca i inne). W artykule przedstawiono budowę i działanie stanowiska autoPW-T oraz przykłady wykorzystania go w badaniach kierowców.

2. Stanowisko do badań kierowcy autoPW-T

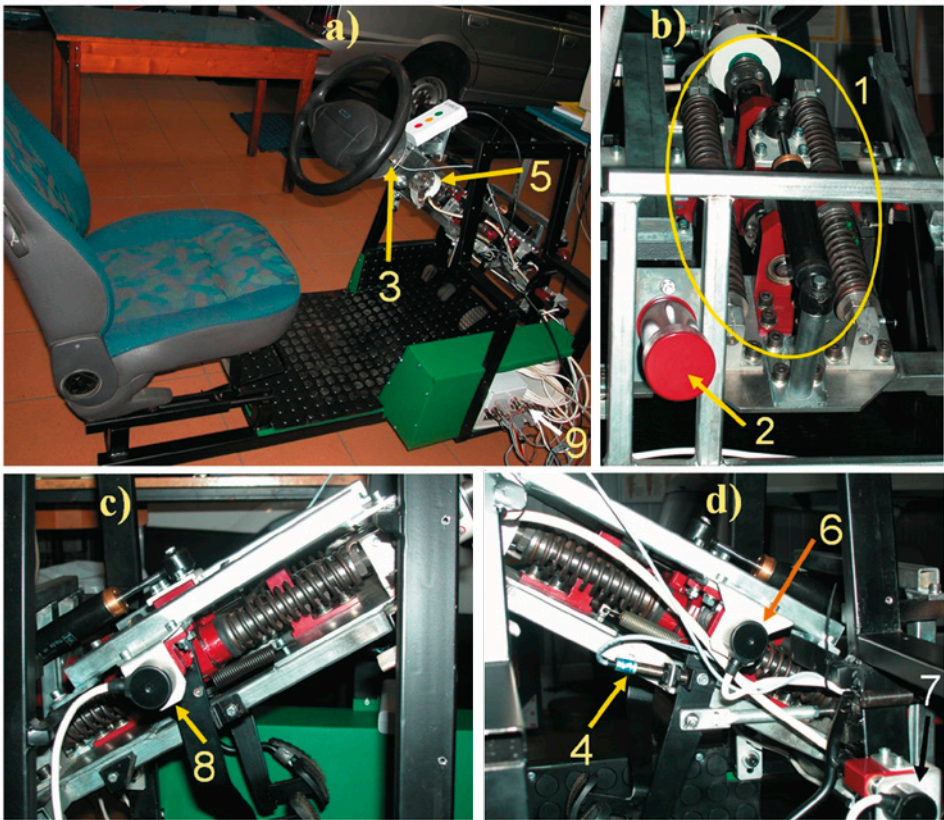
Stanowisko autoPW-T jest podobne do miejsca pracy kierowcy w samochodzie osobowym, zachowując jego cechy ergonomiczne - patrz rysunki 1 i 2. Zostało zbudowane z wykorzystaniem środków finansowych pochodzących częściowo z Unii Europejskiej (w ramach współpracy z grupą VISEB w programie APRSYS VI Ramowego Programu UE), częściowo ze środków, którymi dysponował Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej.

Podstawowe zespoły stanowiska to (rys. 2):

- podstawa stanowiska z fotelem (mocowanie fotela z regulacją jego położenia),
- kolumna kierownicy (z możliwością regulacji położenia kąтового),
- mechanizm symulujący opory uruchamiania układu kierowniczego,
- mechanizm pedału hamulca,



Rys. 1. Widok stanowiska autoPW-T w trakcie badania kierowcy



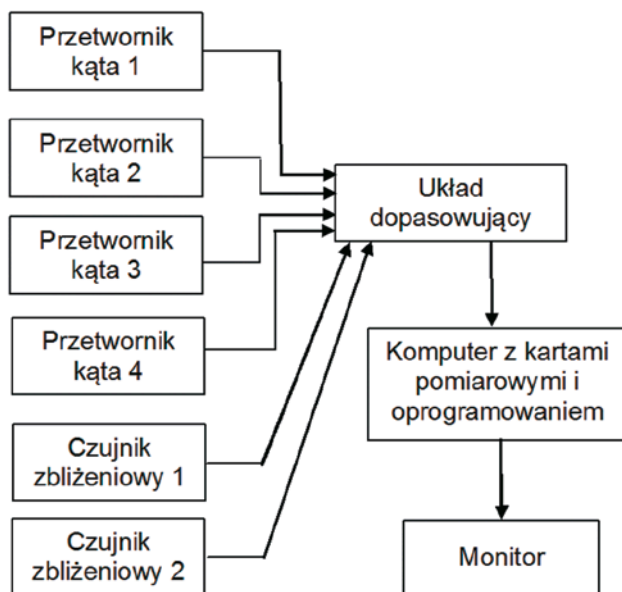
Rys. 2. Widok stanowiska autoPW-T przy zdemontowanych osłonach: a) widok ogólny, b) widok „od przodu”, c) widok z lewej strony, d) widok z prawej strony. 1 – mechanizm oporu na kole kierownicy, 2 – mechanizm oporu na pedale hamulca, 3, 4 – czujniki zbliżeniowe koła kierownicy, pedału hamulca, 5, 6, 7, 8 – czujniki obrotowo-impulsowe (enkodery) położenia koła kierownicy, pedału hamulca, pedału przyspieszenia, pedału sprzęgła, 9 – skrzynka z układem dopasowującym

- mechanizm symulujący opór uruchamiania układu hamulcowego,
- mechanizm pedału przyspieszenia i pedału sprzęgła,
- układ pomiarowy i rejestracji, komputer, oprogramowanie,
- obudowy komory mieszczącej w/w mechanizmy i układy.

Mechanizmy sterowania (pedały, kierownica) oraz siedzisko kierowcy wraz z ich wzajemnym usytuowaniem przestrzennym adaptowano z małego samochodu osobowego. Istotną cechą stanowiska jest odzwierciedlenie realnych oporów mechanizmów sterowania.

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 3. W jego skład wchodzi 4 optoelektroniczne przyrostowe przetworniki kąta obrotu – enkodery inkrementalne (służą do oceny położenia koła kierownicy oraz położenia trzech pedałów) oraz 2 czujniki indukcyjne zbliżeniowe. Dzięki sygnałom z enkoderów możliwa jest ocena takich parametrów jak: czas

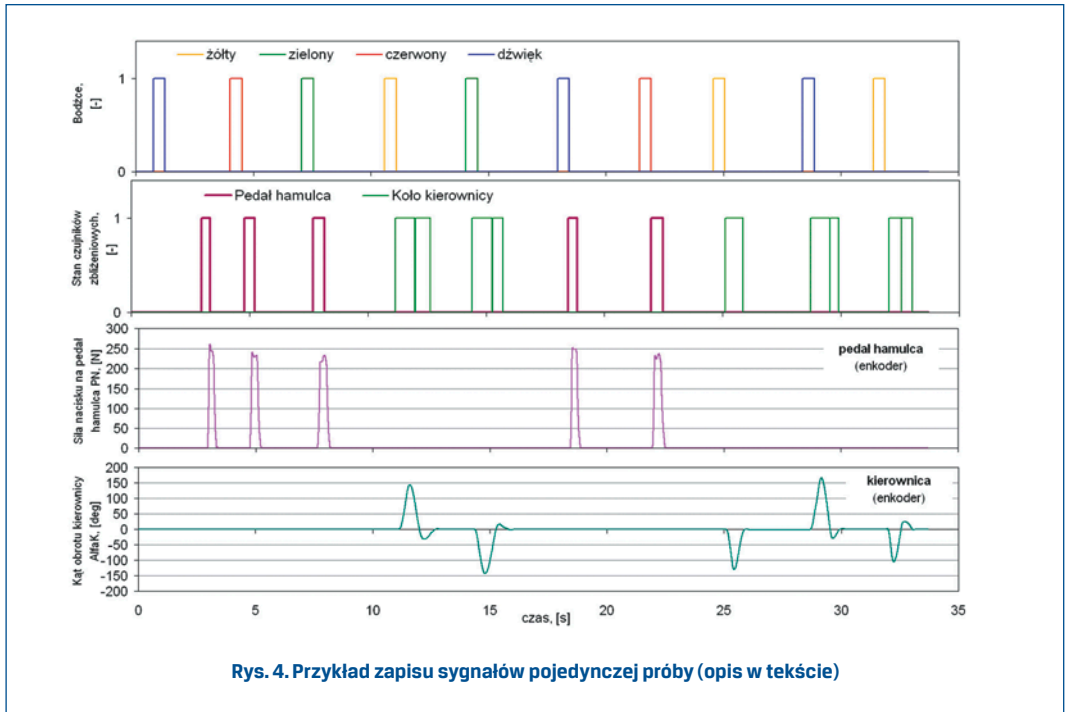
reakcji kierowcy w trakcie operowania poszczególnymi elementami sterowania pojazdem (kierownicą, pedałami hamulca, przyspieszenia oraz sprzęgła), „szybkość” narastania sygnału opisującego dany element sterowania (np. czas narastania siły nacisku na pedał hamulca, czas narastania kąta obrotu kierownicą) oraz „intensywność” sygnału (np. wartość maksymalna siły nacisku na pedał hamulca, amplituda kąta obrotu kierownicą). Celem zastosowania czujników zbliżeniowych jest szybka, bez analizy sygnału opisującego dany element sterowania, ocena tylko czasu reakcji (ocena tej wielkości za pomocą sygnałów z enkoderów wymaga oddzielnej analizy zarejestrowanych przebiegów – patrz też rozdział 3 artykułu). Dokładność określenia czasu wynosi ± 1 ms.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego stanowiska autoPW-T

Szczegółowy opis budowy zespołów i układów zawarty jest w opracowaniach [3, 4].

Jedną z idei stanowiska była możliwość stosowania metodyki badawczej analogicznej do stosowanej podczas typowych testów oceny czasu reakcji w pracowniach psychologii transportu (patrz np. [6, 10]). Stąd, między innymi, taki sam zestaw bodźców, na które ma reagować badany: trzy sygnały świetlne wyświetlane na ekranie monitora (patrz rys. 1) i jeden dźwiękowy. Ponadto wprowadzono możliwość symulowania jazdy poprzez sprzęgnięcie położenia pedału przyspieszenia z wyświetlanym na monitorze prędkościomierzem. Jest to ważny element stanowiska, ponieważ umożliwia badanie kierowcy w sytuacji, gdy jego uwaga skupiona jest na wykonywaniu określonej funkcji – w tym przypadku - utrzymywania zadanej prędkości jazdy. Kolejność ekspozycji bodźców i ich liczba jest programowalna. Istnieje możliwość badania zarówno tzw. „reakcji prostej”, jak i „reakcji złożonej”.



Rys. 4. Przykład zapisu sygnałów pojedynczej próby (opis w tekście)

3. Przykład pojedynczego badania

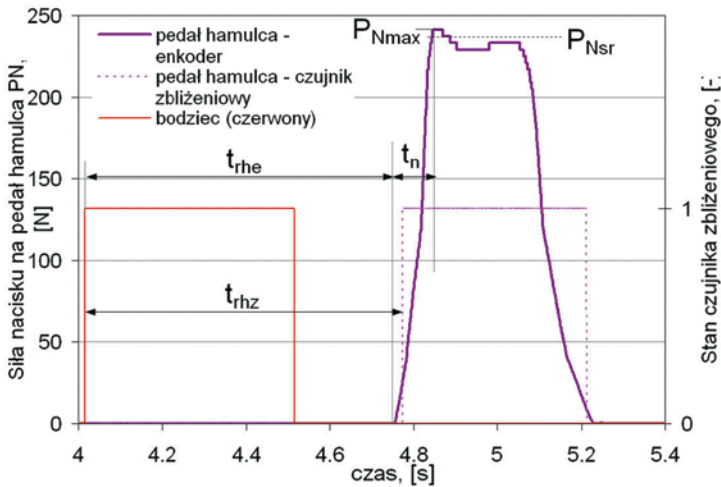
Celem tego rozdziału jest wskazanie możliwości pomiarowych urządzenia autoPW-T. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy zapis sygnałów z badania. Są to kolejno przebiegi ekspozycji bodźców (0 – brak ekspozycji, 1 – ekspozycja), sygnałów z czujników zbliżeniowych koła kierownicy i pedału hamulca (0 oznacza położenie spoczynkowe, 1 – reakcję na danym elemencie), wartości siły nacisku na pedał hamulca i kąta obrotu kierownicy (na podstawie sygnałów z enkoderów). Przebieg obejmuje 10 „reakcji” (po 5 na kole kierownicy i pedale hamulca).

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono wybrane działanie kierowcy na pedale hamulca i kole kierownicy wraz z ilustracją, w jaki sposób i jakie parametry są możliwe do oceny. Te parametry to czas reakcji na danym elemencie (t_r), czas narastania reakcji (t_n), wartość szczytowa reakcji (max) oraz w przypadku pedału hamulca – wartość średnia (s_r) siły nacisku na pedał (w okresie tzw. „ustalonej” siły). Wybrane przebiegi sygnałów dotyczą „reakcji” drugiej na rysunku 4 (chwila ok. 5 s) w przypadku pedału hamulca oraz czwartej (chwila ok. 11 s) dla koła kierownicy.

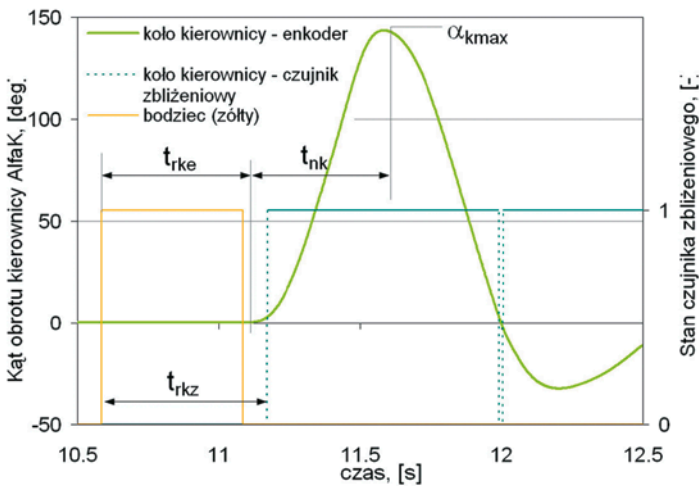
Czas reakcji jest wyznaczany na dwa sposoby. Pierwszy (t_{rz}) – za pomocą czujników zbliżeniowych – od chwili początku ekspozycji bodźca (narastającego zbrocza sygnału bodźca) do chwili zadziałania czujnika zbliżeniowego danego elementu sterowania (narastającego zbrocza sygnału reakcji). Ta metoda pomiaru jest wygodna do szybkiej oceny czasu

reakcji. Drugi sposób to ocena na podstawie przebiegu czasowego wartości ocenianego parametru, a więc sygnałów pochodzących z enkoderów (t_{re}). Czas reakcji t_{re} mierzony jest również od początku ekspozycji bodźca do chwili stwierdzenia reakcji na danym elemencie sterowania (wykrycia jakościowej zmiany wartości danej wielkości). Ta metoda wymaga jednak dokładnej, oddzielnej analizy przebiegów już po zakończeniu testu.

Wartości parametrów dla przebiegów pokazanych na rysunku 5 i 6 przedstawiono w tabeli 1. Wartości czasów reakcji określonych na podstawie czujników zbliżeniowych są większe



Rys. 5. Parametry działania kierowcy oddziałującego na pedał hamulca



Rys. 6. Parametry działania kierowcy oddziałującego na koło kierownicy

od określonych na podstawie przebiegów z enkoderów. Wynika to z wartości progowej, przy której „reagują” czujniki zbliżeniowe.

Tabela 1. Parametry działania kierowcy dla przebiegów pokazanych na rysunkach 5 i 6

parametr	Pedał hamulca	Koło kierownicy
czas reakcji na podstawie czujnika zbliżeniowego	$t_{rhz} = 0,759$ s	$t_{rkz} = 0,587$ s
czas reakcji na podstawie enkodera	$t_{rhe} = 0,740$ s	$t_{rke} = 0,559$ s
czas narastania sygnału	$t_{nh} = 0,107$ s	$t_{nk} = 0,442$ s
maksymalna wartość sygnału	$P_{Nmax} = 241$ N	$\alpha_{kmax} = 143,6^\circ$
wartość średnia sygnału	$P_{Nsr} = 233$ N	-
różnica $t_{rhz} - t_{rhe}$	$\Delta t_{rh} = 0,019$ s	$\Delta t_{rk} = 0,028$ s

4. Ocena czasu reakcji kierowcy w trakcie operowania kołem kierownicy i pedałem hamulca

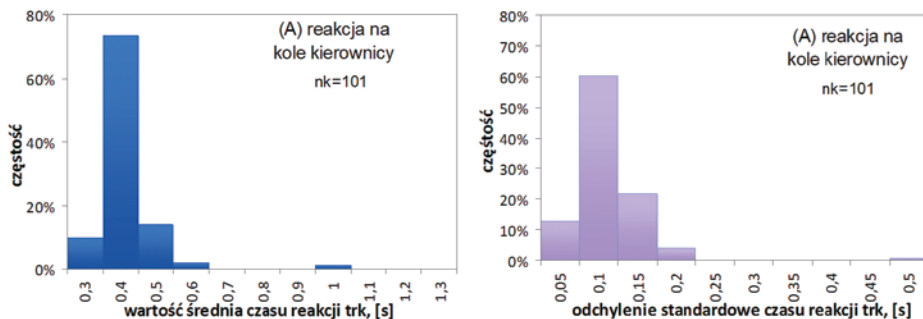
Porównano wyniki obu badanych wielkości dla populacji 101 kierowców (mężczyźni głównie w wieku 20-25 lat, o zróżnicowanym doświadczeniu w prowadzeniu pojazdów). Każdy z badanych wykonywał testy analogiczne do opisanego w poprzednim punkcie.

Każdy z badanych wykonywał 4 próby:

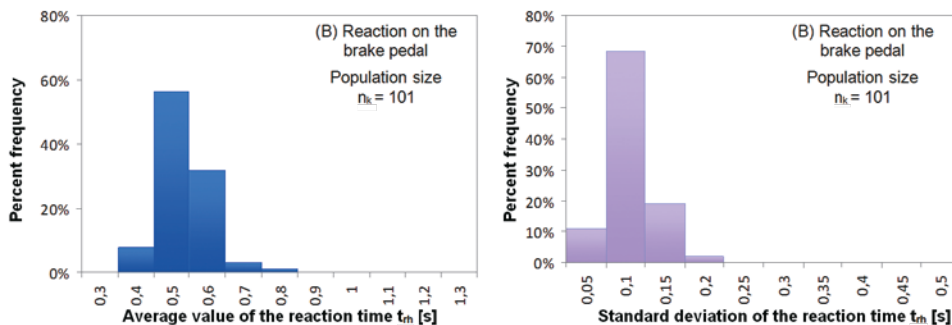
- A. reakcja prosta na kole kierownicy – symulowana jazda z zadaną prędkością, reakcja na każdy bodziec w postaci wykonania skrętu kierownicą.
- B. reakcja prosta na pedale hamulca – symulowana jazda z zadaną prędkością, reakcja na każdy bodziec w postaci wykonania hamowania - mocnego wciśnięcia pedału hamulca. Konieczne jest przełożenie stopy z pedału przyspieszenia na pedał hamulca.
- C. reakcja złożona – odpowiednik oceny czasu reakcji złożonej stosowanej w pracowniach psychologii transportu na tzw. refleksometrach (patrz np. [5, 6, 10]): każdemu bodźcowi odpowiada określona reakcja. Zastosowano typowy układ dla takiej oceny: sygnał „czerwony” – reakcja lewą ręką: tu ruch kierownicy w lewo, sygnał „żółty” – reakcja prawą ręką: tu ruch kierownicy w prawo, sygnał „zielony” – reakcja lewą nogą: tu wciśnięcie pedału sprzęgła, sygnał dźwiękowy – reakcja prawą nogą: tu wciśnięcie pedału hamulca. W przypadku tego badania nie symulowano jazdy.
- D. reakcja „hamowanie awaryjne” – jest to odpowiednik badania B, ale z tą różnicą, że badany miał za zadanie wcisnąć „równocześnie” z pedałem hamulca także pedał sprzęgła.

W trakcie każdej próby badany kierowca poddawany był 20 bodźcom. Artykuł zawiera ocenę następujących parametrów: czas reakcji na kole kierownicy (badanie A), czas reakcji na pedale hamulca (badania B i D) oraz czas reakcji złożonej w analogicznej formie jak

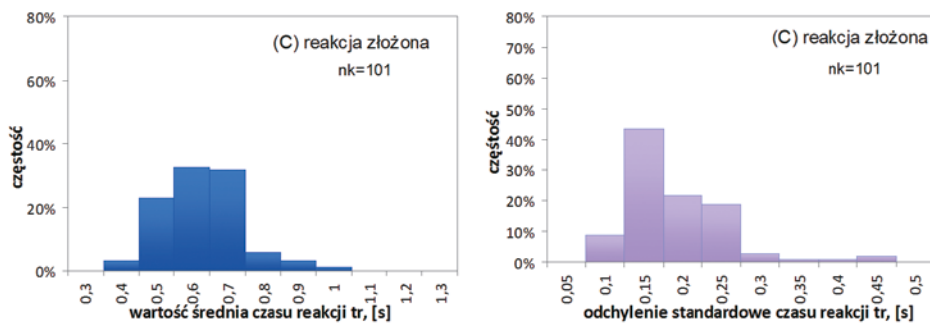
w przypadku badania „psychotechnicznego” – bez rozróżniania, na jakim elemencie była reakcja (badanie C). Określono miary statystyczne dla czasu reakcji na dwóch elementach sterowania samochodem: na kole kierownicy i pedale hamulca. Na rysunkach 7-10 przedstawiono uzyskane histogramy średniego czasu reakcji kierowców w danym rodzaju próby oraz odchylenia standardowego tej wielkości.



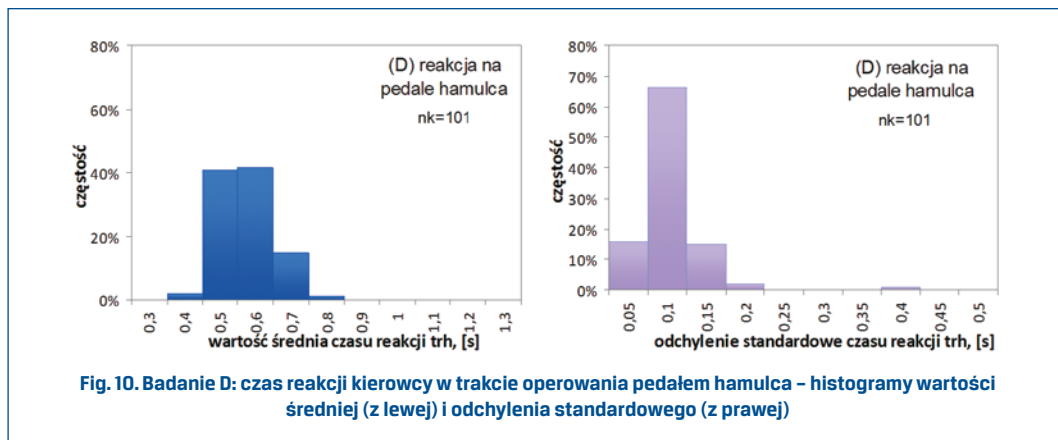
Rys. 7. Badanie A: czas reakcji kierowcy w trakcie operowania kołem kierownicy – histogramy wartości średniej (z lewej) i odchylenia standardowego (z prawej)



Rys. 8. Badanie B: czas reakcji kierowcy w trakcie operowania pedałem hamulca – histogramy wartości średniej (z lewej) i odchylenia standardowego (z prawej)



Rys. 9. Badanie C: czas reakcji złożonej – histogramy wartości średniej (z lewej) i odchylenia standardowego (z prawej)



Ponadto w tabeli 2 przedstawiono wartości parametrów statystycznych rozkładów czasu reakcji w badaniach A, B, C i D dla całej populacji wyników pomiarów (w każdym badaniu 101 kierowców ×20 pomiarów = 2020 próbek).

Tabela 2. Wybrane statystyki opisowe czasu reakcji w próbach A, B, C i D

Rodzaj badania:	A	B	C	D
Typ reakcji:	prosta	prosta	złożona	prosta
Element, na którym oceniano czas reakcji:	Kierownica	Pedał hamulca	Kierownica, pedał hamulca	Pedał hamulca
Średnia [s]	0,362	0,487	0,576	0,522
Mediana [s]	0,348	0,486	0,575	0,519
Odchylenie standardowe [s]	0,079	0,065	0,101	0,071
Rozstęp (zakres) [s]	0,695	0,381	0,527	0,331
Minimum [s]	0,262	0,32	0,374	0,391
Maksimum [s]	0,957	0,701	0,901	0,722
Współczynnik zmienności [-]	0,219	0,134	0,175	0,137
Kurtozja/Skośność	31/4,5	0,9/0,5	0,5/0,6	-0,4/0,4
Liczność [-]	101x20	101x20	101x20	101x20
Kwantyl 0.1 [s]	0,306	0,409	0,462	0,435
Kwantyl 0.9 [s]	0,429	0,569	0,698	0,620

Dominującym przedziałem, w którym mieścił się średni czas reakcji „na kole kierownicy”, (badanie A) był przedział od 0,3 do 0,4 s (ponad 70% badanych kierowców uzyskało taki wynik). W przypadku pedału hamulca (badanie B) średni czas reakcji kierowcy jest nieco bardziej rozproszony i przesunięty w stronę wyższych wartości. Dominują przedziały od 0,4 do 0,5 s (ok. 56%) i od 0,5 do 0,6 s (ok. 31%).

Porównując czasy reakcji „na kole kierownicy” i „na pedale hamulca”, można stwierdzić, że wartości średnie różnią się o ok. 0,125 s (na pedale hamulca jest o ok. 35% dłuższy niż na kole kierownicy). W przybliżeniu można przyjąć, że ta różnica to średni czas przełożenia stopy z pedału przyspieszenia na pedał hamulca. Uzyskana wartość (0,125 s) koresponduje z danymi podawanymi np. w [7].

Miarą stałości reakcji może być odchylenie standardowe. Zauważyć można zbliżone jakościowo i ilościowo rozkłady odchylenia standardowego czasu reakcji na kole kierownicy (badanie A) i na pedale hamulca (badanie B). W obu przypadkach dominuje przedział od 0,05 do 0,10 s, w którym mieści się 60-70% przypadków. Zarówno dla reakcji na kole kierownicy, jak i na pedale hamulca kolejnym przedziałem jest zakres od 0,10 do 0,15 s (ok. 20% przypadków), a następnym - zakres poniżej 0,05 s (ok. 10% przypadków).

Interesującym jest porównanie wyników uzyskanych na stanowisku autoPW-T w badaniu B i D. W obu przypadkach oceniano czas reakcji na pedale hamulca, ale w przypadku D badany miał za zadanie „równocześnie” wcisnąć pedał sprzęgła. To dodatkowe zadanie w widoczny sposób przełożyło się na osiągane wyniki. Średni czas reakcji wzrósł od 0,487 s do 0,522 s (o ok. 7%). Również rozproszenie wyników powiększyło się – zakres między kwantylami 0,1 i 0,9 wzrósł – od 0,160 s do 0,185 s (16%). Świadczy to o znaczącym wpływie tego efektu.

Największe wartości zarówno miar pozycyjnych, jak i rozproszenia widać w przypadku badania C – reakcji złożonej. Wartość średnia czasu reakcji w tym badaniu (0,576 s) jest wyraźnie większa niż w pozostałych (mimo że tu nie jest rozróżniane czy oceniane działanie na kole kierownicy czy na pedale hamulca). Podobnie odchylenie standardowe (0,101 s) czy rozstęp (0,527 s) są zdecydowanie większe. Jakościowo jest to zgodne z wynikami podawanymi dla badań „psychologicznych” na urządzeniach typu „refleksometr” – patrz np. [5]. Efekt ten ilustruje czas potrzebny na podjęcie decyzji przez kierowcę.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na charakter przedstawionych rozkładów (rys. 7-10, tabela. 2). Wszystkie z nich są zbliżone jakościowo do rozkładu normalnego, ale charakteryzują się mniejszą lub większą prawostronną asymetrią (mają dodatnie wartości współczynnika skośności). Jest to zbieżne z uwagami przedstawionymi w [11] na temat charakteru rozkładu czasu reakcji kierowców. Tam również stwierdzono (w badaniach przeprowadzanych inną metodą i na innej grupie osób) dodatnią skośność rozkładu czasu reakcji.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono zbudowane prototypowe stanowisko do oceny czasu reakcji kierowców w trakcie oddziaływania na elementy sterowania samochodem. Zaprezentowano możliwość oceny tego parametru kierowcy, a także ukazania istotnych różnic między badanymi osobami. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły zróżnicowanie czasu reakcji w zależności od rodzaju elementu sterowania samochodem oraz złożoności sytuacji (reakcja prosta/złożona). Średni czas reakcji prostej dla operowania pedałem hamulca

(ok. 0,487 s) jest o ponad 30% dłuższy niż dla operowania kołem kierownicy (średnia ok. 0,362 s). Można przyjąć, że różnica ta (średnio wynosząca ok. 0,125 s) ilustruje w przybliżeniu czas przełożenia stopy z pedału przyspieszenia na pedał hamulca. Dodatkowe zadanie nałożone na kierowcę – tu wciskanie pedału sprzęgła podczas badania reakcji przy operowaniu pedałem hamulca – skutkowało w badaniach nieznacznie większym (o ok. 7%) średnim czasem reakcji. We wszystkich trzech przypadkach badania reakcji prostej miary rozproszenia były na zbliżonym poziomie (w przypadku wykonywania dodatkowego zadania były nieco większe). W przypadku reakcji złożonej zarówno średni czas reakcji, jak i rozproszenie rozkładu są wyraźnie większe.

Pokazane cechy stanowiska oraz wyniki przeprowadzonych z jego użyciem badań kierowców wskazują na przydatność urządzenia jako alternatywy wobec prostych „refleksometrów” stosowanych w pracowniach psychologii transportu. Jednak warunki badań w dalszym ciągu różnią się od warunków pracy kierowcy w naturalnym ruchu drogowym. Jako istotny kierunek dalszych prac można wymienić porównanie wyników pomiarów uzyskiwanych na stanowisku autoPW-T z uzyskiwanymi innymi metodami oceny czasu reakcji oraz określenie wpływu na wyniki cech badanych kierowców (np. wiek, doświadczenie).

Literatura

- [1] Arczyński S.: *Mechanika ruchu samochodu*. Warszawa: WNT 1993.
- [2] Bąk-Gajda D., Bąk J.: *Psychologia transportu i bezpieczeństwa ruchu drogowego*. Warszawa: Difin 2010.
- [3] Drobiszewski J., Guzek M., Mackiewicz W.: *Wykorzystanie stanowiska autoPW-T w badaniach kierowców*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, zeszyt 96. Warszawa: OWPW 2013, s. 151-160.
- [4] Guzek M.: *Ocena czasu reakcji kierowcy w warunkach zbliżonych do rzeczywistego środowiska jego pracy*. Część 1, 2, 3. Sprawozdania z wykonania prac badawczych nr 503G/1160/ 3720, 4490 i 4660, Politechnika Warszawska, 2005, 2006 i 2007.
- [5] Guzek M., Kobylański K.: *Badanie czasu reakcji kierowców z wykorzystaniem urządzenia MCR-2001E*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, zeszyt 96: Bezpieczeństwo i analiza ryzyka w transporcie. Warszawa: OWPW 2013, s. 191-200.
- [6] Miernik parametrów reakcji MCR/MPR firmy Psychotronics (dostęp online <http://www.psychotronics.pl>, data dostępu 2014.01.10).
- [7] Praca zbiorowa pod red. J. Wiercińskiego: *Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego*. Kraków: Instytut Ekspertyz Sądowych 2011.
- [8] Prochowski L.: *Pojazdy samochodowe. Mechanika ruchu*. Wydanie drugie rozszerzone. Warszawa: WKŁ 2008.
- [9] Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J.: *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Wydanie drugie uaktualnione. Warszawa: WKŁ 2014.
- [10] Rotter T.: *Metodyka psychologicznych badań kierowców – wersja znowelizowana*. Warszawa: Instytut Transportu Samochodowego 2003.
- [11] Stańczyk T. L., Jurecki R.: *Czasy reakcji kierowców w stanach zagrożenia wypadkowego*. Materiały II Konferencji Naukowo-Technicznej „Rozwój techniki samochodowej a ubezpieczenia komunikacyjne”. Wyższa Szkoła Biznesu im. Biskupa Jana Chrapka w Radomiu. Radom 2006, s. 321-347.