

Ewa Łazowska
Michał Niezgoda
Mikołaj Kruszewski
Instytut Transportu Samochodowego

OBCIĄŻENIE POZNAWCZE KIEROWCÓW

Prowadzenia samochodu jest złożoną czynnością powodującą znaczące obciążenie systemu poznawczego kierowcy. Liczba zadań, jaką równolegle realizuje kierowca, może powodować przeciążenie poznawcze, które ogranicza zasoby potrzebne do bezpiecznego prowadzenia samochodu. Problemy z uwagą są uważane za jedną z najważniejszych przyczyn powstawania wypadków drogowych. Istnieje zatem silna potrzeba opracowania efektywnych metod badania obciążenia poznawczego kierowców. Niniejszy artykuł stanowi przegląd metod stosowanych w badaniach kierowców podczas prowadzenia pojazdu. Przedstawiono wybrane metody badań, wskazując na wady i zalety ich zastosowania, oraz określono możliwości ich zastosowania zarówno w badaniach prowadzonych w rzeczywistym ruchu drogowym, jak też w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu symulatorów jazdy.

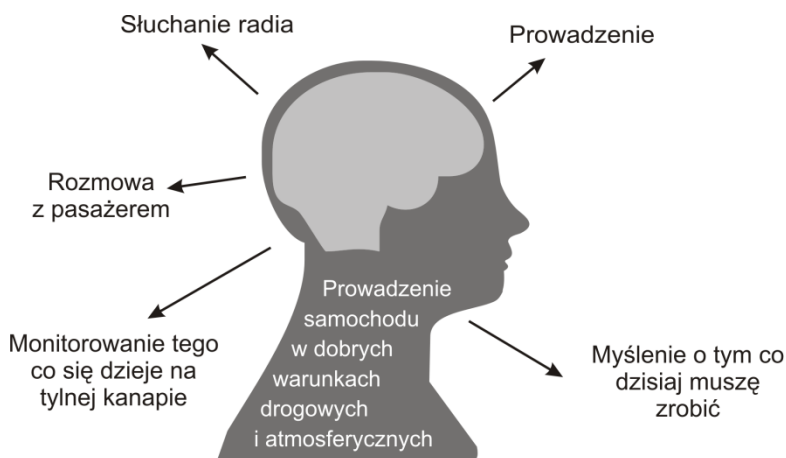
DRIVERS' COGNITIVE WORKLOAD

Driving a car is a complex activity which imposes cognitive workload. The multiplicity of tasks which the driver has to perform can lead to overload of the cognitive system. Cognitive workload limits resources, which are needed for safe driving. As a consequence attention distraction may occur which can result in traffic accident. Therefore, we need efficient research methods to study and detect cognitive workload. This paper consists of a review of methods used in researches on driver's cognitive workload, their main advantages and disadvantages as well as their potential in applying them in research in real and virtual road-traffic conditions.

1. Wstęp

Każdego roku na świecie, ponad milion osób ginie w następstwie wypadku samochodowego a kolejne pięćdziesiąt milionów zostaje rannych, często doznając nieodwracalnego uszczerbku na zdrowiu [[28]]. Jednocześnie błąd ludzki, któremu przypisuje się bardzo duży procent zdarzeń, jest uznawany za główną przyczynę występowania wypadków drogowych [[21]]. Prowadzenie pojazdu należy do czynności o złożonej charakterystyce, które w znaczącym stopniu angażują zasoby poznawcze kierowcy a nawet, w pewnych sytuacjach, je przekraczają. Ze względu na fakt, że czynności wykonywane przez kierowcę są wynikiem oddziaływania wielu czynników, powstało wiele teorii oraz modeli opisujących zachowanie kierowców. Najbardziej znane są modele autorstwa: Groeger (2002), Michon (1985) czy Reason (1990) [[4], [14], [18]]. W niniejszej pracy skoncentrowano się na zagadnieniu obciążenia poznawczego, które jest jednym z elementów wspomnianych modeli.

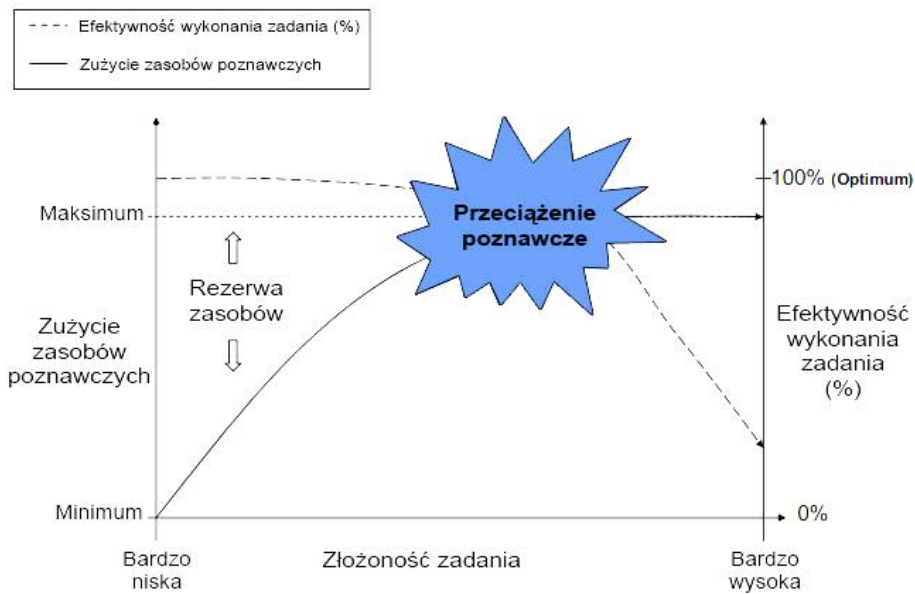
Istnieje szereg czynników potencjalnie rozpraszcających uwagę kierowcy i odwracających ją od czynności związanych z prowadzeniem pojazdu. Do czynników tego typu należą wszystkie elementy znajdujące się na zewnątrz pojazdu, takie jak inni użytkownicy drogi, budynki, roślinność czy uliczne reklamy. Również wszelkiego typu urządzenia pokładowe nie związane bezpośrednio z czynnościami związanymi z prowadzeniem pojazdu, np. nawigacja samochodowa należą do czynników potencjalnie rozpraszcających uwagę kierowcy.



Rys. 1. Obciążenie poznawcze kierowcy [źródło własne]
 Fig. 1. Driver's cognitive workload [own source]

Termin obciążenie poznawcze odnosi się do zapotrzebowania na zasoby poznawcze. W sytuacji gdy zapotrzebowanie przekroczy pewną granicę, jakość wykonywania zadań znacząco spada [[24]]. Pomiar obciążenia poznawczego oraz przekroczenia wydolności poznawczej, był przedmiotem wielu dotychczasowych badań. Według Patten (2007) [

Rys. 2] w miarę zbliżania się do maksimum obciążenia poznawczego, jakość prowadzenia pojazdu znacząco się pogarsza. Kierowca, którego system jest nadmiernie obciążony będzie reagował wolniej a także pomijał pewne informacje. W takiej sytuacji, z większym prawdopodobieństwem będzie popełniał różnego typu błędy mogące prowadzić do kolizji a nawet poważnego wypadku. Nadmierne obciążenie poznawcze przejawia się poprzez m.in. mniejszą płynność jazdy, niewłaściwy dobór biegu do obrotów silnika i gwałtowne hamowania. Odpowiednie monitorowanie obciążenia poznawczego kierowcy, może więc doprowadzić do zmniejszenia liczby błędów popełnianych w wyniku nieuwagi (braku wystarczających zasobów poznawczych).



Rys. 2. Przeciążenia poznawcze [[16]]

Fig. 2. Cognitive overload [[16]]

Analiza danych zebranych z 2 000 000 przejechanych kilometrów po drogach USA, przeprowadzona przez NHTSA (2006) wykazała, że brak uwagi i rozproszenie uwagi są głównymi czynnikami prowadzącymi do zaistnienia sytuacji niebezpiecznych oraz wypadków drogowych [[8]]. Równocześnie, współcześnie kierowcy narażeni są na oddziaływanie coraz większej liczby dystraktorów, w postaci dodatkowych urządzeń instalowanych w pojeździe, czy elementów otoczenia drogi które mają przyciągać uwagę. Potencjalnie zwiększa to szanse na zaistnienie sytuacji niebezpiecznych. Szczególną uwagę należy zwrócić na dystraktory wzrokowe, ponieważ człowiek odbiera większość informacji na temat otoczenia za pomocą zmysłu wzroku.

Istnieje szereg metod, wykorzystywanych w badaniach nad obciążeniem poznawczym, które ze względu na charakter można podzielić na metody oceny subiektywnej i oceny obiektywnej. W dalszej części artykułu scharakteryzowano wybrane metody.

2. Subiektywne metody badania obciążenia poznawczego

Najczęściej wykorzystywaną subiektywną metodą badania obciążenia poznawczego jest kwestionariusz NASA-TLX [[5]] [[2]].

W kwestionariuszu NASA-TLX, uczestnik badania, po jego zakończeniu, sam ocenia, w jakim stopniu był obciążony pod względem: obciążenia umysłowego, obciążenia fizycznego, presji czasu, wydolności, wysiłku oraz frustracji. Odpowiedzi udzielane są za pomocą 20-stopniowej skali, gdzie uczestnik stawia znak „X” na pasku zaczynającego się od wartości „1” a kończącego wartością „20”. Inną subiektywną metodą badania obciążenia poznawczego jest technika SWAT (ang. Subjective Workload Assessment Technique) [[20]]. Technika SWAT została opracowana w 1989 roku i jest stosowana do dnia dzisiejszego. Technika ta jest bardziej czasochłonna niż NASA-TLX. Przed przystąpieniem do badania, uczestnik ma za zadanie uporządkować zestaw 27 kart przedstawiających rysunki, w taki sposób, aby w jego odczuciu stanowiły skalę – od najmniejszego do największego obciążenia. Po wykonaniu właściwego zadania, osoba ocenia za pomocą skali od „1” do „3” w jakim stopniu była obciążona w zakresie trzech obszarów: obciążenie czasowe (czasochłonność zadania a ilość przeznaczzonego na nie czasu), obciążenie umysłowe (wymagania zadania w stosunku do koncentracji i wykorzystania zasobów poznawczych), presja (uczucie frustracji, niepewności podczas wykonywania zadania). Wynik końcowy stanowi złożenie odpowiedzi z fazy wstępnej i oceny zadania po jego wykonaniu.

Głównymi zaletami obu metod subiektywnych są: niski koszt, nieinwazyjność, łatwość zastosowania, znana rzetelność i trafność [[29]]. Metody te jednak wymagają przerwania badania lub są stosowane po przeprowadzeniu badania a ich subiektywny charakter może obniżać rzetelność wyników. Dodatkowo metoda SWAT jest bardziej czasochłonna podczas samego badania i wymaga dłuższej analizy po przeprowadzeniu badania. Uważa się także, że metoda ta charakteryzuje się niską wrażliwością dla niewielkich poziomów obciążenia poznawczego [[11]].

3. Obiektywne metody badania obciążenia poznawczego

W celach badawczych, lepszym rozwiązaniem wydają się być techniki obiektywne, umożliwiające monitorowanie obciążenia poznawczego podczas całego czasu trwania badania. Metody te zakładają wykorzystanie danych o technice jazdy, lub wybranych czynnikach fizjologicznych podczas jazdy, które mogą świadczyć o stanie procesów uwagowych kierowcy.

3.1. Parametry związane z prowadzeniem pojazdu

Pierwsza grupa wskaźników obciążenia poznawczego obejmuje miary związane z prowadzeniem pojazdu, takie jak:

- położenie i zmiany położenia w pasie ruchu,
- zmiany kąta skrętu koła kierownicy,
- zmiany prędkości,
- czas reakcji na zdarzenia drogowe.

Nieintencjonalne opuszczenie pasa ruchu lub przekroczenie jego granic wyznaczanych przez oznakowanie poziome lub skrajną linię pobocza, jest uznawane za sytuację potencjalnie niebezpieczną [[22]]. Przekroczenie granic pasa przez element karoserii może prowadzić do kolizji z pojazdem jadącym sąsiednim pasem. Równocześnie zmiany położenia w pasie ruchu oraz zmiany kąta skrętu koła kierownicy mogą być wskaźnikami obciążenia poznawczego. Podczas eksperymentu Son i Park (2011) [[23]] na kierowcach prowadzących pojazd w symulatorze jazdy, wymuszane było obciążenie o trzech stopniach: niskim (za pomocą zadania 0-wstecz), średnim (za pomocą zadania 1-wstecz) oraz wysokim (za pomocą zadania 2-wstecz). Wykonywane zadania typu n-wstecz polega na powtarzaniu usłyszanych cyfr, odpowiednio jedną, dwie lub trzy w tył. Opracowany przez Son i Park (2011) algorytm, bazujący na zmianach położenia w pasie ruchu oraz zmianach kąta skrętu koła kierownicy, był w stanie wyznaczyć poziom obciążenia poznawczego z dokładnością do 73,3%. Niestety pomiar parametrów tego typu jest trudny do zastosowania w rzeczywistych warunkach drogowych, m.in. ze względu na występowanie odcinków o zmiennej geometrii pasów lub braku wyraźnie oznakowanej granicy pobocza. Można natomiast stosować tę technikę w badaniach w środowiskach symulacyjnych.

Zmiany prędkości, a dokładnie redukcja prędkości, mogą być wskaźnikiem obciążenia poznawczego. Przykładowo, kierowca, którego system poznawczy jest obciążony rozmową przez telefon podczas jazdy, w sposób świadomy lub nieświadomy redukuje prędkość aby nie przeciążyć swojego systemu poznawczego i być w stanie kierować pojazdem w bezpieczny sposób, pomimo prowadzenia rozmowy [[17]]. Wyznaczenie redukcji prędkości jazdy jest stosunkowo łatwym do zastosowania parametrem, jednak stwierdzenie przyczyn, czy jest ono spowodowane nadmiernym obciążeniem poznawczym czy, np. panującymi warunkami ruchu, wymaga przeprowadzenia dalszych badań.

Kolejnym parametrem, wpływającym na bezpieczeństwo ruchu drogowego, jest czas reakcji. W badaniach zespołu Patten (2004) kierowcy mieli za zadanie prowadzić pojazd i reagować na losowo zapalające się diody, umieszczone w ich peryferyjnym polu widzenia [[17]]. Reakcja polegała na zwolnieniu przycisku umieszczonego pod palcem wskazującym lewej ręki. Jednocześnie osoby te rozmawiały przez zestaw głośnomówiący, co powodowało dodatkowe obciążenie poznawcze. Stwierdzono znaczący spadek szybkości reakcji na bodźce wzrokowe po rozpoczęciu prowadzenia rozmowy. Odpowiednio szybka reakcja na określone sytuacje jest istotnym elementem bezpieczeństwa ruchu drogowego.

3.2. Parametry fizjologiczne

Druga grupa obiektywnych metod badania obciążenia poznawczego obejmuje pomiary parametrów fizjologicznych ludzkiego ciała. Stosunkowo najłatwiejszymi do zastosowania metodami są pomiar tętna (częstotliwości) oraz galwanicznej reakcji skóry, które wykazują istotny związek z obciążeniem poznawczym [[13]]. Kolejną metodą wykorzystywaną w badaniach obciążenia poznawczego kierowców [[9]], wymagającą jednak zastosowania zaawansowanej aparatury obsługiwanej przez wykwalifikowany personel, jest pomiar załamka P3b za pomocą elektroencefalografu (EEG) [[10]]. W tego typu badaniach, podłączone do skóry

głowy elektrody rejestrują elektryczną aktywność mózgu, będącą odzwierciedleniem obciążenia poznawczego. Inną metodą wykorzystywaną w badaniach obciążenia poznawczego jest funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI) [[25]], metoda ta jest jednak trudna do zastosowania w badaniach kierowców podczas prowadzenia pojazdu.

3.3. Parametry okulograficzne

Parametry okulograficzne stanowią podgrupę parametrów fizjologicznych, jednak zostały wyszczególnione jako oddzielna grupa ze względu na stosunkową łatwość w zastosowaniu w pojeździe, a tym samym duży potencjał w badaniach obciążenia poznawczego kierowców. Badania tego typu polegają na pomiarze ruchów oka oraz jego parametrów, takich jak wielkość źrenicy czy częstotliwość mrugnięć.

Urządzenia służące do pomiaru ruchów gałki ocznej nazywane są okulografami. Ogólny podział urządzeń tego typu wyróżnia okulografy stacjonarne oraz okulografy mobilne. Okulografy stacjonarne, przy obecnie stosowanej technologii pozwalają na uzyskanie większej częstotliwości i dokładności pomiaru, niż okulografy mobilne, jednak wymagają aby badana osoba utrzymywała w bezruchu głowę podczas całego badania. Cel ten osiągany jest zazwyczaj poprzez zastosowanie specjalnych podpórek na czoło oraz brodę. Takie rozwiązanie jest trudne do zastosowania w pojeździe a tym samym trudne do wykorzystania w badaniach kierowców.

Pewna grupa okulografów stacjonarnych, nazywana urządzeniami „zdalnymi”, nie wymaga kontaktu z osobą badaną i nie ogranicza jego ruchów. W stosunku do innych urządzeń stacjonarnych i mobilnych posiadają jednak stosunkowo niską dokładność pomiaru, co w istotnym stopniu ogranicza ich wykorzystanie w tej dziedzinie.



Rys. 3. Zastosowanie metod okulograficznych w badaniach kierowców [źródło własne]

Fig. 3. Application of oculography in research on drivers [own source]

Mobilne okulografy zazwyczaj mają formę urządzenia montowanego na głowie badanej osoby umieszczonego na kasku lub w specjalnie zaprojektowanych okularach [Rys. 3]. Okulografy mobilne osiągają mniejszą szybkość pomiaru niż

okulografy stacjonarne, jednak swoboda ruchu, jaką zapewniają badanej osobie sprawia, że urządzenia tego typu są niezwykle często wykorzystywane w badaniach kierowców [[3], [6]].

W dotychczasowych badaniach nad obciążeniem poznawczym stosowano następujące parametry okulometryczne:

- wielkość źrenicy oka,
- częstotliwość mrugnięć,
- czas trwania mrugnięcia,
- liczba fiksacji,
- czas trwania fiksacji,
- położenie fiksacji.

Najczęściej wykorzystywanym parametrem jest wielkość źrenicy, która w stałych warunkach oświetleniowych zwiększa swoją średnicę wraz ze wzrostem trudności zadań wykonywanych przez daną osobę [[26]]. Zgodnie z wynikami badań zespołu Holmqvist (2011), zakres zmian średniej wielkości źrenicy dochodzi do 20% [[7]]. Istnieją również bardziej złożone parametry związane z wielkością źrenicy oka. Przykładowo, Indeks Aktywności Poznawczej (ICA - Index of Cognitive Activity), bazujący na obliczaniu niewielkich, krótkotrwałych rozszerzeń źrenicy, okazał się być dobrym wskaźnikiem obciążenia poznawczego w zadaniach językowych oraz związanych z zapamiętywaniem ciągów liczb [[12]]. Zapewnienie stałych warunków oświetleniowych w rzeczywistym ruchu drogowym może stanowić pewien problem, jednak miary obciążenia systemu poznawczego bazujące na pomiarach wielkości źrenicy oka mogą być z powodzeniem stosowane w kontrolowanych, laboratoryjnych warunkach symulatorów jazdy.

Częstotliwość mrugnięć oraz czas trwania mrugnięcia są dyskusyjnymi miarami obciążenia poznawczego. Według badań zespołu Recarte (2008) zarówno częstotliwość mrugnięć jak i czas trwania mrugnięcia jest zależny od wymagań jakie stawiają bodźce wzrokowe podczas wykonywania jednego zadania lub dwóch zadań równoległe [[19]]. Jednakże badania Veltman i Gaillard (1996) przeprowadzone w symulatorze lotu wykazały, że oba wcześniej wymienione parametry nie były zależne od obciążenia poznawczego badanych osób ze względu na dużą ilość informacji wzrokowych przekazywanych w ograniczonym czasie [[27]]. Podobnie jak pilot, kierowca samochodu w krótkim czasie rejestruje dużą ilość informacji wzrokowych. Sprzeczne wyniki badań w tym zakresie powodują, że nie można obecnie, na podstawie parametrów mrugnięć wnioskować o poziomie obciążenia poznawczego, a zagadnienie wymaga kolejnych badań określających przydatność, lub możliwość wykorzystania tego wskaźnika do badania kierowców.

Długość trwania fiksacji oraz ich liczba są kolejnymi dyskusyjnymi wskaźnikami obciążenia poznawczego. Badania Miura (1990) [[15]] oraz zespołu Holmqvist (2011) [[7]] wykazały, że krótszy czas trwania fiksacji jest zależny od poziomu stresu oraz związanego z nim stopnia obciążenia systemu poznawczego wynikającego z wykonywania zadania wzrokowego polegającego na wyszukiwaniu odpowiedniego elementu. Z drugiej strony badania Backs i Walrath (1992) [[1]] nie wykazały by czas trwania fiksacji był zależny od trudności wykonywanego zadania związanego z analizowaniem informacji przedstawionej na obrazach. Można zatem wnioskować, że parametry fiksacji jako wskaźniki obciążenia poznawczego są

zależne od rodzaju wykonywanego zadania. Ze względu na fakt, że prowadzenie pojazdu stanowi złożenie wielu zadań, wykorzystanie tego typu parametrów może nie być efektywne w badaniach kierowców.

4. Podsumowanie

Nadmierne obciążenie systemu poznawczego kierowcy powoduje pogorszenie zdolności percepcyjnych, wydłużenie czasu reakcji oraz zwiększa prawdopodobieństwo podjęcia nieprawidłowej decyzji. Tym samym może prowadzić do powstania na drodze niebezpiecznych sytuacji mogących skutkować kolizją lub wypadkiem drogowym. Badania obciążenia systemu poznawczego kierowców mogą przyczynić się więc do podniesienia poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Aby możliwe było zapobieganie przeciążaniu systemu poznawczego kierowcy, niezbędne jest opracowanie efektywnych metod detekcji tego stanu. Obecnie istnieje wiele metod pomiaru poziomu obciążenia poznawczego, które klasyfikowane są do jednej z dwóch grup: metod subiektywnych lub metod obiektywnych.

Metody subiektywne bazują na własnej ocenie przez kierowcę poziomu obciążenia, jakie generowało określone zadanie. Głównym zarzutem stawianym tego typu metodom jest mniejsza dokładność w porównaniu z metodami obiektywnymi. Jednocześnie metody subiektywne są powszechnie stosowane ze względu na niski koszt, nieinwazyjność oraz łatwość zastosowania.

Metody obiektywne zostały podzielone na dwie główne grupy: parametry związane z prowadzeniem pojazdu oraz parametry fizjologiczne. Spośród parametrów jazdy, pomiary zmian położenia w pasie ruchu oraz kąta skrętu kierownicy okazały się być efektywnymi wskaźnikami obciążenia poznawczego. Zwiększenie obciążenia systemu poznawczego znajdowało swoje odzwierciedlenie również w wydłużeniu czasu reakcji na bodźce wzrokowe oraz w redukcji prędkości.

Parametry fizjologiczne stosowane w pomiarach obciążenia poznawczego to przede wszystkim: częstotliwość akcji serca, przewodnictwo galwaniczne skóry oraz aktywność elektryczna mózgu. Pomimo pozytywnych wyników badań, wskazujących na możliwość wykorzystania tych metod w badaniach kierowców, niektóre z tych technik są trudne do wykorzystania, ze względu na konieczność zastosowania specjalistycznych urządzeń. Ogranicza to w istotny sposób możliwości wykorzystania zarówno badań EEG jak i fMRI.

Spośród parametrów fizjologicznych została wydzielona specjalna grupa – parametry okulograficzne. Parametry te mają wysoki potencjał wykorzystania w badaniach kierowców podczas prowadzenia samochodu, głównie ze względu na łatwość i wygodę stosowania okulografów mobilnych. Do tej pory przeprowadzono wiele badań nad zależnością pomiędzy obciążeniem poznawczym a parametrami ruchu oka, niestety nie ma jednak zgodności co do możliwości stosowania niektórych parametrów okulograficznych w tego typu badaniach. Na podstawie wyników większości badań można stwierdzić, że najlepszymi wskaźnikami obciążenia poznawczego są parametry związane ze zmianą wielkości źrenicy oka.

Przedstawione w artykule metody badań poziomu obciążenia poznawczego kierowców stanowią obiecującą dziedzinę, której rozwój może przyczynić się pośrednio, do poprawy bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Dla wybranych parametrów, zarówno obiektywnych jak i subiektywnych, już udowodniono w badaniach ich przydatność. Istnieje jednak duża grupa parametrów, które wymagają dalszych badań laboratoryjnych dla potwierdzenia swojej skuteczności.

Powyższa praca została zrealizowana w ramach projektu EYEVID finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (umowa nr PBS1/B6/9/2012).

LITERATURA:

- [1] Backs, R. W., Walrath, L. C., 1992. Eye movement and pupillary response indices of mental workload during visual search of symbolic displays. *Applied Ergonomics*, Volume 23, Issue 4, pp. 243–254.
- [2] Bicka-Capała, M., 2007. Przekład i Standaryzacja polskiej wersji skali NASA – TLX. *Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej*.
- [3] Caird, J. K., Chisholm, S. L., Lockhart, J., Do In-Vehicle Advanced Signs Enhance Older and Younger Drivers' Intersection Performance? *Driving Simulation and Eye Movement Results*, *International Journal Human-Computer Studies* Vol. 66.
- [4] Groeger, J. A., 2002. Trafficking in cognition: applying cognitive psychology to driving. *Transportation Research: Part F*, 5(4), pp. 235–249.
- [5] Hart, S. G., Staveland, L.E., 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research (original research article). *Advances in Psychology* 52, pp. 139–183.
- [6] Ho, C., Spence, C., 2008. Multisensory Driver, *Human Factors in Road and Rail Transport*, pp. 1–35.
- [7] Holmqvist, K., 2011. *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. Oxford; New York: Oxford University Press.
- [8] Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J., Ramsey, D., 2006. The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data Department of Transport, DOT HS 810 594.
- [9] Lei, S., Welke, S., Roetting, M., 2009. Representation of driver's mental workload in EEG data. In: D. de Waard, J., Godthelp, F.L., Kooi, K.A., Brookhuis (Eds.). *Human Factors, Security and Safety*, pp. 285–294.
- [10] Lei, S., Welke, S., Roetting, M., 2009. Representation of driver's mental workload in EEG data. In: D. de Waard, J., Godthelp, F.L., Kooi, K. A., Brookhuis (Eds.). *Human Factors, Security and Safety*, pp. 285–294.
- [11] Luximon, A., Goonetilleke, R.S., 1998. Continuous Subjective Workload Assessment Technique. *Ergonomics for Global Quality and Productivity*.
- [12] Marshall, S. P., 2007. Identifying cognitive state from eye metrics. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78, pp. B165–B175.
- [13] Mehler, B., Reimer, B., Coughlin, J. F., & Dusek, J. A., 2009. The impact of incremental increases in cognitive workload on physiological arousal and performance in young adult drivers. *Transportation Research Record*, 2138 (12), pp. 6–12.
- [14] Michon, J.A., 1985. A critical review of driver behaviour models: What do we know, what should we do? In L. Evans, and R.C. Schwinn (Eds.), *Human Behavior and Traffic Safety*, New York, Plenum Press, pp. 485–520.

- [15] Miura, T., 1990. Active function of eye movement and useful field of view in a realistic setting. In R. Goner, G. d'Ydewalle, & R. Parham (eds.), *From Eye to Mind. Information Acquisition in Perception, Search, and Reading*, pp. 119–127.
- [16] Patten, Ch. J. D., 2007. Cognitive workload and the driver. *Understanding the effects of cognitive workload on driving from a human information processing perspective*.
- [17] Patten, Ch. J. D., Kircher A., Östlund J., Nilsson L., 2004. Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation, *Accident Analysis and Prevention* 36 (2004) pp. 341–350.
- [18] Reason, J. T., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J. and Campbell, K., 1990. Errors and violations on the roads: A real distinction?, *Ergonomics* 33, p.p. 1315–1332.
- [19] Recarte, M.A., Pérez, E., Conchillo, A., Nunes, L.M., 2008. Mental workload and visual impairment: Differences between pupil, blink, and subjective rating. *The Spanish Journal of Psychology*, 11 (2), pp. 374–385.
- [20] Reid, G.B., Nygren, T.E., 1988. The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. *Original Research Article Advances in Psychology* 52, 185–218.
- [21] Salmon, P.M., Regan, M.A., Johnston, I., 2005. *Human Error and Road Transport*.
- [22] Savino, M. R., 2009. Standardized names and definitions for driving performance measures.
- [23] Son, J., Park, S., 2011. Cognitive Workload Estimation through Lateral Driving Performance, *SAE Technical Paper 2011-28-0039*.
- [24] Śpiewak, S., 2008. Dlaczego zupa z kamienia smakuje psychologom społecznym? O wykorzystywaniu manipulacji obciążeniem poznawczym w badaniach społecznych. *Psychologia Społeczna* 2008, Tom 3, pp. 23–40.
- [25] Tomasi, D., Chang, L., Caparelli, E.C., Ernst, T., 2007. Different activation patterns for working memory load and visual attention load. *Brain Res.* 1132, pp. 158–165.
- [26] Tsai, Y., Viirre, E., Strychacz, C., Chase, B., Jung, T., 2007. Task performance and eye activity: predicting behavior relating to cognitive workload. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 78, pp. B176-B185.
- [27] Veltman, J.A., Gaillard, A.W.K., 1996. Physiological indices of workload in a simulated flight task. *Biological Psychology* 42 (3), pp. 323–342.
- [28] World Health Organization, 2003. *Global Status Report on Road Safety: Time for Action*.
- [29] Zhang, Y., & Luximon, A., 2005. Subjective mental workload measures. *Ergonomia IJE&HF* 27 (3), pp. 199–206.