



MONIKA N. BUGDOL<sup>1)</sup>  
 AGATA M. WIJATA<sup>2)</sup>  
 KATARZYNA WACŁAWSKA<sup>3)</sup>  
 SEWERYN PIWOWARSKI<sup>4)</sup>  
 MARIA SKOTNICKA<sup>5)</sup>  
 ANNA DYRDA<sup>6)</sup>

## EFFECTIVE COMMUNICATION OF INFORMATION VIA VARIABLE MESSAGE SIGNING FROM THE POINT OF VIEW OF DRIVER'S BASIC SKILLS

### SPRAWNY PRZEKAZ INFORMACJI OZNAKOWANIA VMS W ASPEKTCIE PODSTAWOWYCH UMIEJĘTNOŚCI KIEROWCY

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono przeprowadzone badanie z zakresu reakcji kierowców na znaki zmiennej treści. Na potrzeby eksperymentu skonstruowane zostało stanowisko pomiarowe złożone ze znaku zmiennej treści oraz wyposażonego w czujniki pomiarowe urządzenia, składającego się z fotela samochodowego, kierownicy oraz pedałów. Sprawdzany był czas do rozpoczęcia reakcji, czas reakcji oraz poprawność reakcji na wyświetlany znak, który w większości przypadków był pseudolosowo uszkodzony. Wyniki numeryczne z przeprowadzonych badań poddano analizie statystycznej, której wyniki stanowią istotną część prezentowanego artykułu. Analiza przeprowadzona została w postaci testów statystycznych oraz statystyk opisowych i umożliwiła określenie relacji pomiędzy wartościami średnich badanych czasów, również w kontekście poprawności reakcji oraz typu znaku. Brak reakcji występował zazwyczaj w przypadku uszkodzenia jednego lub trzech paneli. Ważne z praktycznego punktu widzenia spostrzeżenia zostały wyartykułowane we wnioskach.

**SŁOWA KLUCZOWE:** czas reakcji, uszkodzenia znaków, VMS, znaki zmiennej treści.

**ABSTRACT.** The article presents a study carried out in the field of drivers' reaction on variable message signs. For the purpose of the experiment a measuring station has been constructed consisting of a variable message sign and a device equipped with sensors containing a vehicle seat, steering wheel and pedals. The time to start the reaction, the reaction time and the response correctness to the displayed information has been checked. In most cases the VMS has been pseudorandomly damaged. Numerical results of the study has been analyzed statistically, and the results of this analysis are an important part of the article. It has been carried out in the form of statistical tests and descriptive statistics and allowed to determine the relationship between the values of the average examined times, also in the context of the accuracy of the reaction and the sign type. No reaction has been usually noted in case of failure of one or three panels. Observations important from a practical point of view have been articulated in the conclusions.

**KEYWORDS:** reaction time, signs damage, variable message signs, VMS.

DOI: 10.7409/rabdim.014.019

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Biomedycznej; [Monika.Bugdol@polsl.pl](mailto:Monika.Bugdol@polsl.pl) (✉)

<sup>2)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Biomedycznej; [agatw343@student.polsl.pl](mailto:agatw343@student.polsl.pl)

<sup>3)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Biomedycznej; [katawac124@student.polsl.pl](mailto:katawac124@student.polsl.pl)

<sup>4)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Biomedycznej; [Seweryn.Piwowarski@polsl.pl](mailto:Seweryn.Piwowarski@polsl.pl)

<sup>5)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Biomedycznej; [MaSkotnicka@polsl.pl](mailto:MaSkotnicka@polsl.pl)

<sup>6)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Biomedycznej; [annadyr356@student.polsl.pl](mailto:annadyr356@student.polsl.pl)

## 1. WSTĘP

Znaki drogowe o zmiennej treści (VMS) są jednym z elementów Systemu Inteligentnego Transportu (ITS), który ma sprzyjać poprawie bezpieczeństwa i komfortu wszystkich uczestników ruchu drogowego. Głównym zadaniem, jakie mają spełniać znaki o zmiennej treści, jest informowanie o specyficznych zdarzeniach, takich jak roboty drogowe, wypadki czy inne opóźnienia w ruchu. Oznaczenia tego typu wykorzystywane są również do przekazywania treści ostrzegawczych, które są zależne od warunków atmosferycznych [1]. Zdarzenia takie występują na drogach relatywnie rzadko, dlatego też w niektórych państwach rozszerzono działanie VMS do przekazywania kierowcom innych komunikatów (takich jak np. „Zachowaj odstęp”, „Nie przekraczaj linii”), które mogą być w łatwy sposób sterowane systemowo [2].

Do poprawnego działania systemu każdy kierowca musi znak drogowy zobaczyć, zrozumieć i zastosować (tzw. zasada 3Z [3]). Czas podczas kierowania pojazdem na wykonanie tych 3 zadań wynosi do kilku sekund [4], dlatego też znaki VMS muszą charakteryzować się maksymalną zrozumiałością i minimalnym czasem potrzebnym na ich odczytanie [5, 6]. Zagadnienie skuteczności przekazu informacji przez znaki drogowe (w tym także znaki o zmiennej treści) jest poruszane w licznych pracach [5 - 9]. Wykazano w nich, iż znaki VMS spełniają swoją rolę tylko wtedy, gdy ich treść jest zrozumiała i zwięzła. Brak tych cech znaku prowadzi do nadmiernego absorbowania uwagi kierowcy, skutkując sytuacją odwrotną od zamierzonej, tzn. obniżeniem poziomu bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego.

Niezrozumienie treści znaku przez kierowcę może prowadzić do redukcji prędkości pojazdu, co nie zawsze jest reakcją pożądaną. Zagadnienie to zostało opisane w [5]. Przy wykorzystaniu symulatora jazdy zbadano reakcje kierowców na 10 zintegrowanych tablic tekstowych o zmiennej treści, łączących w sobie komunikat przekazywany w formie graficznej i słownej. Czytelność przekazywanej treści była sprawdzana podczas symulowanej jazdy (rejestrowano reakcję na wyświetlony znak) oraz w spoczynku, po przeprowadzeniu badania. Autorzy [5] zauważyli, iż brak zrozumienia treści znaku przez kierowcę skutkuje spadkiem prędkości jazdy kierowanego pojazdu o ponad 5% oraz redukcją nacisku na pedał gazu po pojawieniu się znaku, która nie ustępowała także po minięciu danego znaku. W przypadku znaków komunikatywnych z punktu widzenia kierowców prędkość jazdy była stabilna, a spadek nacisku na pedał gazu po pojawieniu się znaku był zastępowany przez wzrost nacisku po minięciu znaku.

## 1. INTRODUCTION

Variable message signs (VMS) are one of the elements of the Intelligent Transport System (ITS) and their purpose is to help improve the safety and comfort of all road users. The main objective of the variable message signs is to inform motorists of specific traffic events such as road works, incidents and other traffic disturbances. Signage of this type is used also to display warnings related to weather conditions [1]. Since such events are relatively rare on the roads, in some countries the VMS use was extended to display other messages, such as, for instance: “Keep your distance”, “Do not cross the line” that can be easily controlled within the system [2].

For the system to function correctly every driver must see, understand and react as necessary [3]. The time to perform these three tasks while driving is just a few seconds [4], and for this reason messages presented via Variable Message Signs must be as clear as possible to minimise their processing time [5, 6]. The issue of effectiveness of information communication by road signs (including variable message signs) has been discussed in many studies [5 - 9]. They demonstrate that that variable message signs can meet their purpose only on the condition that the message they display is understandable and concise enough. Otherwise the sign could capture too much of the driver’s attention and thus have the effect opposite to that intended, i.e. to reduce traffic safety.

When a driver cannot readily understand the message presented by the sign he/ she may, as a result, slow down, which is not always desirable. This problem was described in [5]. In that research driving simulator was used to examine the drivers’ reactions to ten integrated variable message boards communicating a message in combined pictorial and text form. The legibility of the displayed message was tested during a simulated driving test (driver's reaction to displayed sign was the recorded parameter) and then, following driving test, also under stationary conditions. The Authors [5] noticed that failure to understand the sign’s message by the driver resulted in slowing down by over 5% and lifting off the gas pedal following the appearance of the sign continued for some time, also after passing of the sign. If the sign’s message was clear to the drivers their driving speed remained constant and the weaker pressure on the gas pedal on noticing of the sign was compensated by increasing the applied pressure upon passing the sign.

Informacja wizualna jest przekazywana głównie za pomocą kształtów i kolorów. Badania, w których kierowcy wybierali najbardziej czytelny spośród znaków o tej samej treści, ale różnym piktogramie, dowiodły, iż zrozumienie treści przekazywanej przez znaki drogowe jest niezależne od płci i wieku kierowcy. Istotnym aspektem jest jedynie jego doświadczenie zdobyte podczas prowadzenia pojazdu [7].

Pomimo, że znaki VMS stosowane są coraz powszechniej, bardzo mało prac jest poświęconych zagadnieniu sprawdzania sprawności znaków i ich wymiany [10]. Z badań i analiz sprawności VMS na przestrzeni lat wykonanych w Seulu [10] wynika, iż optymalny czas na wymianę znaku to 10 lat, a czas maksymalny – 20 lat.

Zgodnie z obowiązującą w Polsce normą PN-EN 12966-1+A1 „Środowisko, w którym stosuje się VMS jest względnie nieprzyjazne i oczekuje się, że urządzenie, którego zadaniem jest <spełnienie swojego celu> zachowa trwałość, gdy będzie wystawione na działanie środowiska korozyjnego, co najmniej przez 10 lat” [11]. Pomimo tak zdefiniowanych zaleceń, znaki zmiennej treści ulegają uszkodzeniom i awariom. Bardzo ważnym jest, aby znak nigdy nie wyświetlał treści niepoprawnej lub niepełnej (która mogłaby wprowadzić kierowcę w błąd), dlatego też powinien on zostać wyłączony w przypadku uszkodzenia powyżej 5% diod LED [3]. Zalecenia nie precyzują jednak obszaru występowania uszkodzeń, co jest parametrem istotnym, ponieważ w zależności od rozmieszczenia uszkodzonych diod definiowane 5% może ciągle wystarczyć do poprawnego odczytu informacji, natomiast w innych przypadkach uszkodzenie poniżej 5% może spowodować błędny przekaz.

W niniejszej pracy, w celu zwrócenia uwagi na ważny aspekt precyzyjnego definiowania przepisów dotyczących projektowania i eksploatacji znaków zmiennej treści, przeprowadzono analizę reakcji kierowców na różne rodzaje uszkodzeń.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. UCZESTNICZY BADANIA

Grupę badawczą stanowiło 30 osób (16 mężczyzn i 14 kobiet) w wieku od 19 do 63 lat. Kryterium przystąpienia do badania stanowiło posiadanie prawa jazdy oraz brak stwierdzonej wady wzroku lub wada poprawnie skorygowana poprzez okulary lub soczewki. Przed rozpoczęciem badania przeprowadzony został krótki wywiad z każdym z uczestników. Zebrane zostały dane na temat wieku, płci, roku wydania prawa jazdy, stażu kilometrowego, historii wypadków i mandatów oraz ewentualnej wady wzroku.

Visual information is delivered mainly through shapes and colours. The studies in which drivers were instructed to choose the most legible from among a number of signs presenting the same message with different pictograms demonstrated that the motorists' sex and age are not relevant to understanding of the message communicated by road signs. The only significant factor in this respect is the motorist's driving experience [7].

Despite the ever growing number of Variable Message Signs there is still only a small number of studies dealing with verification of their effectiveness and need of replacement [10]. The studies and analyses of variable message signs effectiveness over time carried out in Seoul [10] recommended 10 years period as an optimum replacement interval and 20 years as the maximum service life of VMS.

According to EN 12966-1+A1, which is a standard currently binding in Poland “the environment in which the variable message signs are used in relatively adverse and hence the operating lifespan of a device whose task is <to serve its purpose> when exposed to corrosive environment is expected to be at least 10 years” [11]. Despite these recommendations, variable message signs can, of course, suffer damage and can fail during their lifespan. It is very important to eliminate situations where a sign displays wrong or incomplete message (which could mislead the driver), and for this reason it should be turned off when more than 5% of the sign LEDs are out of order [3]. The recommendations, however, fail to specify the area the failure, which is an important parameter since depending on the location of the defective LEDs the sign with 5% LEDs not working can still display the message correctly, while on the other hand, failure of even less than 5% of the LEDs in other places may result in distorting the message presented to the motorists.

This article analyses the drivers' reactions to different types of sign defects in order to draw attention to importance of precise definition of the requirements concerning the design and operation of variable message signs by the relevant regulations.

## 2. METHODOLOGY

### 2.1. SUBJECTS

The study group included thirty people (16 men and 14 women) aged from 19 to 63 years. The eligibility criteria included: holding of a driving license and no diagnosed vision defect, or having a vision defect effectively corrected by glasses or contact lenses. Prior to the commencement

## 2.2. STANOWISKO POMIAROWE

Stanowisko pomiarowe (Rys. 1) skonstruowane zostało z następujących elementów:

- Znak zmiennej treści o powierzchni obrazowej, której matryca miała wymiary  $48 \times 48$  pikseli. System optyczny znaku VMS wykorzystywał diody LED SMD wersja RGB. Odstępy pomiędzy elementami rzeczywistymi znaku wynosiły 12 mm, a klasa dystrybucji szerokości wiązki to B6. Odległość pomiędzy dolną krawędzią znaku VMS oraz podłożem wynosiła 2 m. Dystans pomiędzy osobą badaną a znakiem był równy 40 m. Osoba badana znajdowała się w linii osi odniesienia poprowadzonej z punktu odniesienia.

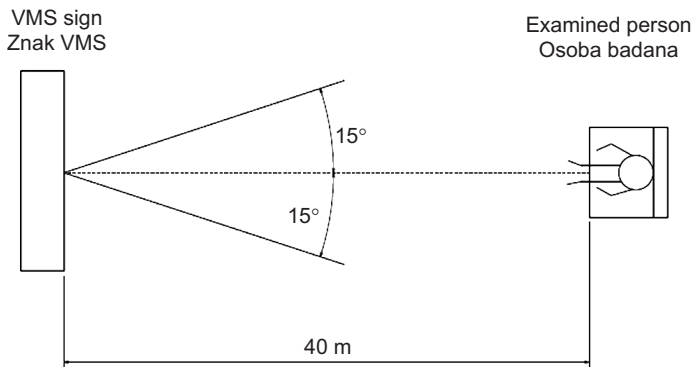


Fig. 1. Layout plan of the test stand used in the experiment  
Rys. 1. Rzut z góry stanowiska pomiarowego

- Symulator sterowania pojazdem, który stanowi swego rodzaju elektromechaniczny pomost między człowiekiem i zbiorem danych, reprezentujących reakcje tego pierwszego na wyzwalane w określonych chwilach czasu bodźce zewnętrzne. System czujników umożliwia akwizycję najważniejszych ruchów wykonywanych w sposób świadomy oraz automatycznych odruchów wykonywanych bez wiedzy kierowcy w trakcie sterowania pojazdem samochodowym. W skład symulatora wchodzi dwa moduły (Rys. 2):

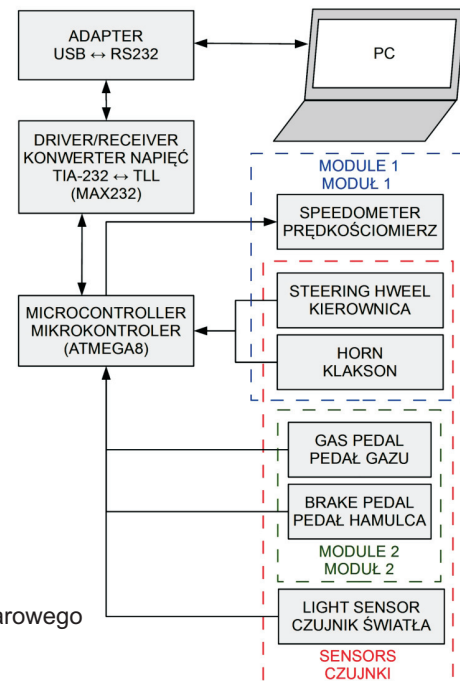
- moduł I – wyposażony jest w czteroramienną kierownicę z klaksonem umieszczonym w jej środku oraz we wskaźnik prędkości,
- moduł II – stanowi mechanizm dźwigniowy, reagujący na nacisk stopą.

Fig. 2. Test stand schematic  
Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

of the tests a short interview was carried out with each subject. The recorded data included age, sex, year of driving license issue, driving experience expressed as the total number of kilometres driven, traffic accidents and ticket record and vision problems, if any.

## 2.2. TEST STAND

- Variable message sign with  $48 \times 48$  pixel matrix display area. The VMS optical system was based on RGB SMD LEDs. The real elements of the sign were spaced by 12 mm, and the beam width distribution class was B6. The sign's bottom edge was located at 2 m above ground. The distance between the subject and the sign was 40 m. The subjects were located on the reference axis line drawn from the reference point.
- Vehicle control simulator forming a component of the test stand. It acts as a certain kind of electromechanical link between the driver and a set of data representing the reactions of the subject to external stimuli released in specific moments of time. The system of sensors makes it possible to record the most important movements made consciously by the driver as well as automatic reflexes made involuntarily by the driver while driving the car. The simulator is made up of two modules (Fig. 2):
  - module 1 – including a four-arm steering wheel with a horn button in the centre and a speedometer,
  - module 2 – a lever mechanism reacting to pressure exerted on pedals by the driver's foot.



Potencjometryczny czujnik rotacji, który jest zespolony mechanicznie z kołem kierownicy, umożliwia dokładny pomiar kąta zakreślonego przez promień wodzący. Drugim elementem kierownicy jest czujnik wciśnięcia klaksonu, zwracający wartość binarną. Mechanizm dźwigniowy wyposażony w czujnik potencjometryczny oraz przycisk mono-stabilny pozwala na pomiar stopnia wciśnięcia pedału gazu oraz hamulca. Kolejnym sensorem jest, umieszczony na powierzchni jednej z diod RGB i zabezpieczony przed działaniem oświetlenia zewnętrznego, fotorezystor umożliwiający pomiar luminancji znaku o zmiennej treści. Elementem integrującym jest układ elektroniczny, którego centralnym podzespołem jest osmiobitowy, taktowany zegarem 8 MHz, mikrokontroler z rodziny AVR. Mikrokontroler ten przelicza wartości z czujników oraz steruje wskaźnikiem prędkości z uwzględnieniem odpowiednich opóźnień.

- Dystraktor w postaci bodźca słuchowego – nagranej audycji radiowej.

### 2.3. PRZEBIEG BADANIA

Uczestnik eksperymentu zajmował wygodną dla niego pozycję w symulatorze. W odległości 40 m przed osobą badaną umieszczony był znak zmiennej treści. Zadaniem osoby badanej było zasymulowanie prowadzenia pojazdu w zimowe niedzielne przedpołudnie w terenie zabudowanym oraz reagowanie na wyświetlane znaki zgodnie z przepisami ruchu drogowego. W trakcie badania wykorzystywano dystraktor w postaci nagranej audycji radiowej. Eksperyment zrealizowany został przy natężeniu oświetlenia zewnętrznego od 12130 lx do 38025 lx. Podczas badania rejestrowane były: zmiana położenia pedału gazu, luminancja wyświetlanego piktogramu, natężenie oświetlenia otoczenia (mierzone na początku i na końcu każdego badania w lokalizacji uczestnika eksperymentu) oraz zmiana położenia pedału hamulca.

Celem eksperymentu było zbadanie:

- wpływu natężenia oświetlenia zewnętrznego na zdolność postrzegania treści znaku,
- wpływu zmiany barwy na zdolność postrzegania treści znaku,
  - a) zmiana barwy obwiedni znaku na zieloną,
  - b) zmiana barwy obwiedni znaku na niebieską,
  - c) zmiana elementów białych znaku na różowe,
- wpływu uszkodzeń diodowych (wygenerowanych pseudolosowo lub zasymulowanych zgodnie z uszkodzeniami spotykanymi na drogach) na zdolność postrzegania treści znaku:

The system includes a rotary potentiometer sensor mechanically integrated with the steering wheel for precise measurement of the angle formed by the radius vector. Binary sensor detecting pushing of the horn button is another component of the test steering wheel. The lever mechanism equipped with a potentiometer sensor and a monostable push button makes it possible to measure the degree to which the accelerator and brake pedals have been pushed down. Another sensor used in the system is a photoresistor mounted on the surface of one of the RGB LEDs, shielded from exposure to external light to measure VMS luminance. The interfacing element is electronic system with 8-bit 8 MHz AVR microcontroller. The role of this microcontroller is to convert the sensor output values and control the speed indicator taking into account the appropriate values of delay.

- A distractor in the form of an auditory stimulus – a radio broadcast recording.

### 2.3. TESTING PROCEDURE

The subjects participating in the experiment were comfortably seated in the simulator. An example of variable message sign was positioned within the distance of 40 m in front of the subject. The subject's task was to simulate driving on a winter Sunday morning through a built-up area and respond to the displayed messages in compliance with the Highway Code provisions. A radio broadcast recording was played used during the test as a distractor. The experiment was conducted at the ambient outdoor lighting intensity of 12130-38025 lx. The recorded parameters included: accelerator pedal movement, pictogram luminance, ambient light intensity (measured at the start and at the end of each test in the subject's location) and brake pedal movement.

The purpose of the experiment was to examine:

- the effect of the ambient outdoor light intensity on the driver's ability to perceive the sign's message,
- the effect of the colour change on the driver's ability to perceive the sign's message:
  - a) change of the sign border colour into green,
  - b) change of the sign border colour into blue,
  - c) change of white sign components into pink,
- the effect of LED failures (generated in a pseudo-random manner or simulated in accordance with the pattern of defects actually encountered on the roads):

- a) uszkodzenia punktowe wygenerowane pseudolosowo za pomocą 6 bitowego generatora LFSR,
- b) trójelementowe maski o pastelowych odcieniach barw: zielonej, żółtej i różowej, wygenerowane pseudolosowo za pomocą 6-bitowego generatora LFSR,
- c) uszkodzenia związane z wyłączeniem jednego panelu,
- d) uszkodzenie związane z wyłączeniem trzech poziomych paneli.

W ramach eksperymentu wykorzystano 64 piktogramy (8 znaków drogowych, każdy z nich w wersji poprawnej i w 7 wersjach uszkodzeń) rozmieszczone w 4 zestawach po 16 elementów. Każda wersja znaku występowała tylko w jednym zestawie, stąd dane zawierają reakcje 7 lub 8 osób na każdą wersję znaku. Reakcja na prawidłowe znaki stanowiła punkt odniesienia w analizie. Zestawy znaków dla poszczególnych grup zostały przedstawione na Rys. 3.

### 3. WYNIKI

Na potrzeby badania przyjęto dwa stany znaku zmiennej treści: niski, gdy na matrycy znaku nie wyświetlano żadnej treści, oraz wysoki, gdy prezentowano zaprogramowane bitmapy. Za punkt początkowy do pomiaru czasu reakcji kierowcy przyjęto zmianę stanu znaku z niskiego na wysoki. Czas reakcji mierzono od momentu pojawienia się piktogramu do początku reakcji badanego, natomiast czas jej trwania to okres od chwili rozpoczęcia reakcji do jej zakończenia lub przejścia znaku w stan niski.

Za reakcję poprawną przyjęto postępowanie zgodne z Kodeksem Ruchu Drogowego dla znaków o poprawnej treści, natomiast za reakcję błędną uznano zachowanie niezgodne z KR.D. Brak reakcji definiowano jako utrzymywanie stałej prędkości w trakcie aktywności znaku.

Podczas badania tylko 12,5% wyświetlanych bitmap stanowiły znaki poprawne, zgodne z obowiązującą normą PN-EN 12966-1 opublikowaną przez Polski Komitet Normalizacyjny. Według subiektywnej oceny osób przebadanych aż 70% znaków było poprawnych. Może to wynikać z braku podstawowej wiedzy o znakach drogowych bądź faktu, że badane osoby nie miały na co dzień do czynienia ze znakami zmiennej treści.

Eksperyment wykazał większe niezdecydowanie wśród badanych płci żeńskiej. 30% kobiet nie podejmowało reakcji na znak (Rys. 4), nie będąc pewne jej poprawności. Zaledwie 21% badanych mężczyzn (Rys. 5) zachowało się w ten sam sposób.

- a) point damages generated in a pseudo-random manner using a 6-bit LFSR generator,
- b) three-component masks in pastel colours: green, yellow and pink, generated in a pseudo-random manner by 6-bit LFSR generator,
- c) failures related to blanking of a single panel,
- d) failure related to blanking of three horizontal panels.

During the experiment the total number of 64 pictograms were shown to the subjects (8 traffic signs, each of them in the correct version and in 7 different defective versions) arranged in 4 sets of 16 elements each. Each sign version occurred in one set only, hence the data include reactions of 7 or 8 people to each respective sign display. Reactions to correct sign displays were used as the reference point in the subsequent analysis. Sets of signs for individual groups are shown in Fig. 3.

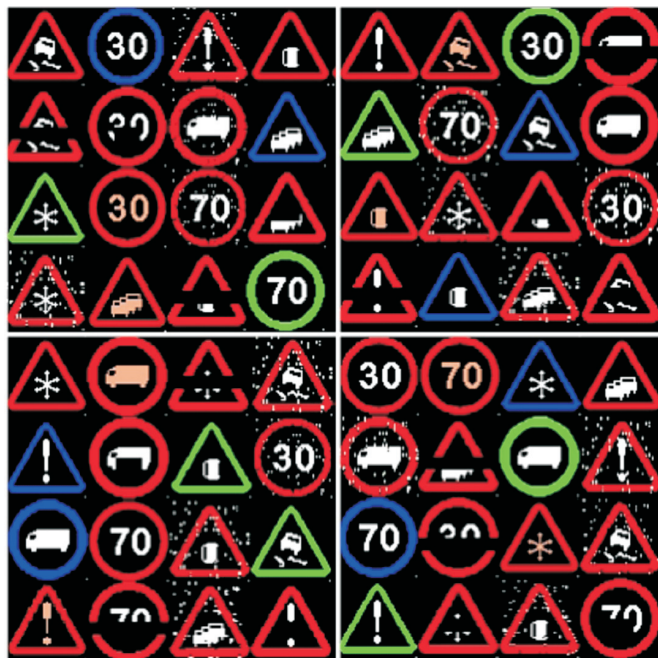


Fig. 3. Sets of signs  
Rys. 3. Zestawy znaków

### 3. RESULTS

Two types of the variable message sign status were defined in the research: low status – when no message was displayed on the sign matrix, and high status, when programmed bitmaps were displayed. The moment of the change of the sign status from low to high was taken as the start point for the driver's reaction time measurement. The reaction time was measured from the moment of the

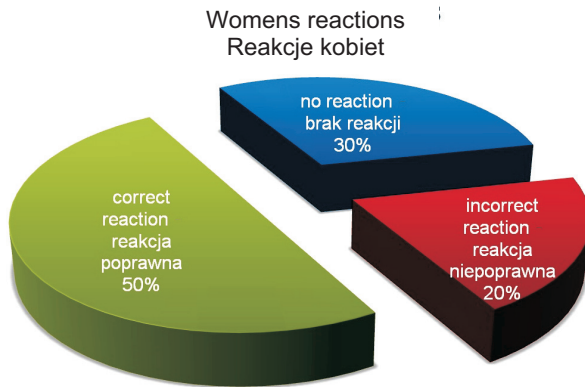


Fig. 4. Correctness of female subjects' reaction  
Rys. 4. Poprawność reakcji kobiet

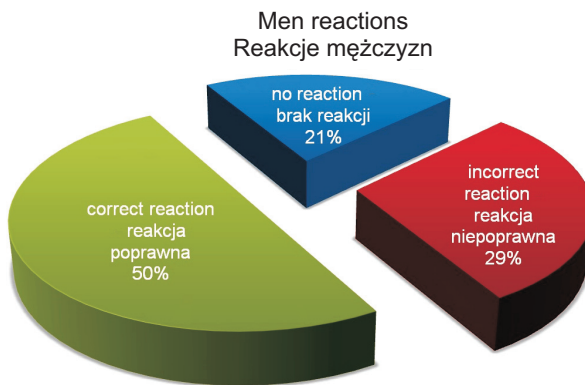


Fig. 5. Correctness of male subjects' reaction  
Rys. 5. Poprawność reakcji mężczyzn

Analiza danych wskazała, iż osoby pokonujące 10000-19999 km/rok cechują się najwyższym procentem (54%) poprawności podejmowanych reakcji (Rys. 6). Grupa pokonująca powyżej 20000 km/rok wydaje się przejawiać zbyt dużą pewność swoich umiejętności, co przekłada się na wysoki odsetek (38%) reakcji nieprawidłowych. Osoby przejeżdżające poniżej 999 km/rok wykazują 19% błędnych reakcji, a w 29% w ogóle nie reagują na prezentowany znak.

Odsetek poprawnych reakcji jest o 8% wyższy u osób zdrowych niż u osób ze stwierdzoną wadą wzroku (Rys. 7 i Rys. 8). Wydaje się, że osoby świadome swojej wady wzroku przejawiają mniejszą pewność siebie w kontekście oceny docierających do nich informacji przekazywanych przez znaki drogowe.

Fig. 6. Correctness of driver's reaction depending on the average number of kilometres driven in a year  
Rys. 6. Poprawność reakcji w zależności od średniej liczby kilometrów przejeżdżanych rocznie

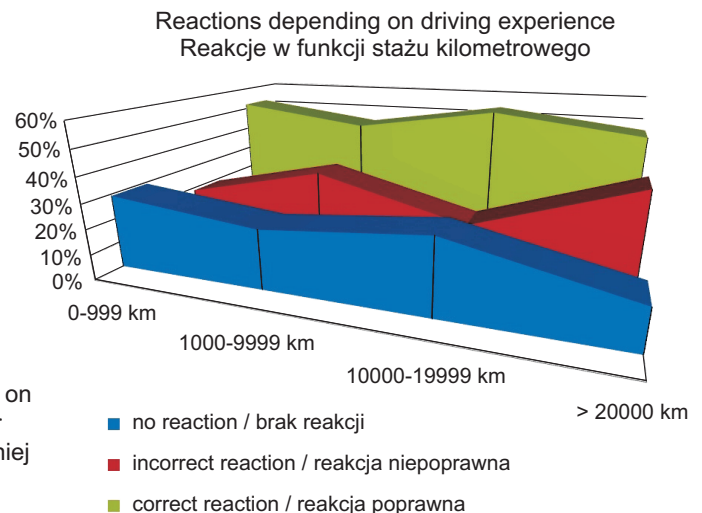
pictogram's appearance till the start of the subject's reaction, while the duration of reaction is the period from the reaction start point till the end of reaction or till the sign's change of status from high into low.

Behaviour in compliance with the Highway Code provisions pertaining to the signs with a correct message was defined as correct, while behaviour breaching the Highway Code was rated as incorrect. Lack of reaction was defined as maintaining the speed at a constant level during the display time.

Only 12.5% of the displayed bitmaps were correct signs, in agreement with EN 12966-1 published in the Polish language version by the Polish Normalization Committee (PKN). However, the subjects assessed as much as 70% of them as correct. This may be attributed to a lack of elementary knowledge on traffic signs or due to the fact that the subjects did not have contacts with variable message signs on a daily basis.

The experiment demonstrated that more women drivers were hesitant about the message with 30% them not reacting to them at all if not sure what they should do (Fig. 4). Only 21% male subjects (Fig. 5) behaved in this way.

Analysis of the data revealed that in the group of people driving between 10000 and 19999 km p.a. the percentage of correct reactions was the highest and amounted to 54% (Fig. 6). The drivers driving more than 20000 km p.a. seemed to demonstrate excessive confidence in their driving skills, which translated into high percentage of incorrect reactions in this group (38%). In the group of drivers with the annual mileage of under 999 km 19% percent of the subjects responded incorrectly and 29% of them did not respond to the presented sign at all.



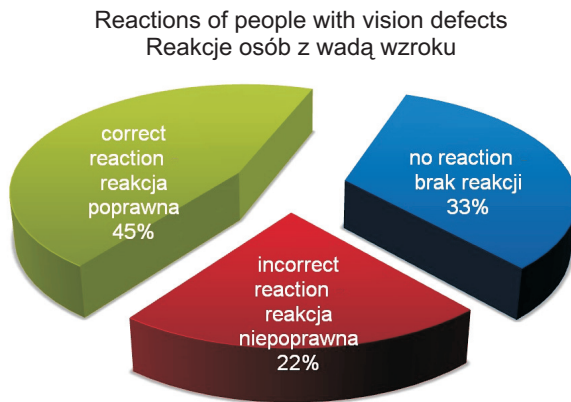


Fig. 7. Correctness of reactions among people with diagnosed vision defect

Rys. 7. Poprawność reakcji wśród osób ze stwierdzoną wadą wzroku

Skrajne wartości natężenia oświetlenia zewnętrznego wydają się sprzyjać poprawnym reakcjom. Minimalna wartość natężenia oświetlenia zewnętrznego zarejestrowana w trakcie badania to 12130 lx, dla której odnotowano 43,75% poprawnych zachowań kierowców oraz 18,75% braku reakcji z ich strony. Dla maksymalnej wartości natężenia oświetlenia (38025 lx) odsetek poprawnych odpowiedzi wyniósł 56,25%, natomiast 12,5% przypadków wskazuje na brak reakcji. Przy wartości natężenia w granicach 23205 do 28075 lx w 45,83% przypadków kierowcy reagowali poprawnie na wyświetlaną treść oraz w 33,33% nie podejmowali działań. Otrzymane wyniki pozwalają wnioskować, iż przy wysokich wartościach natężenia oświetlenia zewnętrznego poprawność odczytywania przekazywanych przez znaki treści wzrasta. Średnie wartości natężenia skutkują natomiast częstym ignorowaniem ich treści.

Zarejestrowane wyniki eksperymentu pozwalają sądzić, iż stopień dekompozycji obrazów przekłada się na zachowanie kierowców. Większa od trzech liczba barw skutkuje brakiem zrozumienia treści przez badane osoby. W 119 przypadkach zanotowano brak reakcji na przekazywane przez znaki treści. Dla tychże przypadków na poniższych grafikach zaprezentowano udział procentowy typów znaków (Rys. 9) oraz ich uszkodzeń (Rys. 10.).

Sprawdzono również, czy średni czas do rozpoczęcia reakcji jest statystycznie taki sam w przypadku reakcji prawidłowych i nieprawidłowych. Do tego celu wykorzystano test t-Studenta, jako test o największej mocy, który mógł zostać zastosowany, przy danej liczności próby. Wykonywano uprzednio test równości wariancji Levene'a oraz test Browna i Forsytha. Gdy oba z wymienionych wskazywały na istnienie podstaw do odrzucenia hipotezy głównej, wówczas wykonywano

The percentage of correct reactions is by 8% higher among healthy subjects than among subjects with a diagnosed vision defects (Fig. 7 and Fig. 8). It seems that persons aware of their vision defect demonstrate lower self-confidence in processing the displayed information.

Reactions of people without vision defects  
Reakcje osób bez stwierdzonej wady wzroku

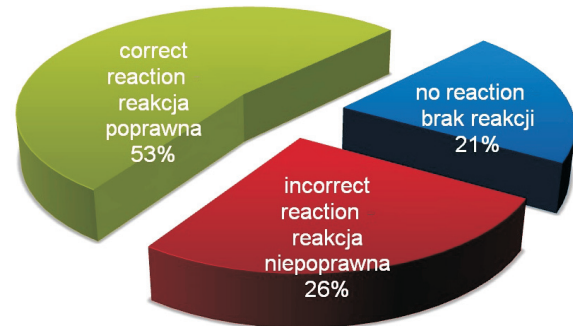


Fig. 8. Correctness of reactions among people without diagnosed vision defect

Rys. 8. Poprawność reakcji wśród osób bez stwierdzonej wady wzroku

The extreme values of external lighting level seem to enhance correct reactions. The minimum value of external illumination levels recorded during the tests was 12130 lx. For this value 43.75% of correct driver reactions and 18.75% cases of lack of any reaction were noted. For the maximum illumination level (38025 lx) the percentage of correct reactions amounted to 56.25%, while in 12.5% of cases no reaction was observed. At the range 23205-28075 lx in 45.83% of cases the drivers correctly responded to the displayed message and in 33.33% cases they took no action. The results allow us to conclude that percentage of cases of correct understanding of messages displayed at the signs increases at high external lighting illumination levels. On the other hand, medium range of illumination intensity yields a lot of cases of ignoring the displayed message.

The recorded results of the experiment allow us to assume that the degree of pictogram decomposition is relevant to the drivers' behaviour. More than three colours make the message incomprehensible to the subjects. In 119 cases lack of reaction to messages transmitted by the signs was noted. For these cases percentage values of sign types (Fig. 9) and their defects (Fig. 10) are shown in the figures below.



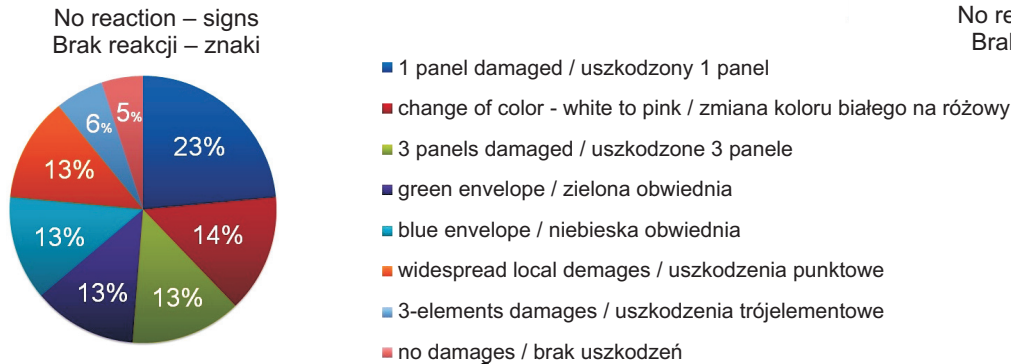


Fig. 9. Percentage of ignored signs  
Rys. 9. Udział procentowy znaków, na które nie było reakcji

No reaction – types of signs damages  
Brak reakcji – uszkodzenia znaków

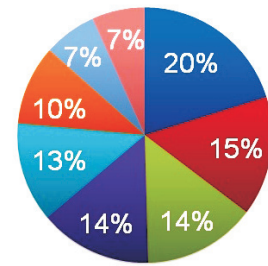


Fig. 10. Percentage of ignored signs with defects  
Rys. 10. Udział procentowy uszkodzeń znaków, na które nie było reakcji

test t-Studenta dla średnich niezależnych z oddzielną estymacją wariancji. Uzyskane wyniki wykazały, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zakładającej, że średnie czasy do rozpoczęcia reakcji prawidłowych i nieprawidłowych różnią się istotnie. We wszystkich testach przeprowadzonych na potrzeby niniejszego artykułu przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ .

Analogicznej analizie poddano czas trwania reakcji prawidłowych oraz nieprawidłowych. Wynika z niej, że są podstawy do odrzucenia hipotezy o równości średnich, a średni czas trwania reakcji nieprawidłowych jest statystycznie większy niż średni czas trwania reakcji prawidłowych. Sprawdzone, czy czas do rozpoczęcia reakcji jest statystycznie taki sam dla znaków ostrzegawczych i zakazu. Test wykonano dla wszystkich typów reakcji łącznie oraz osobno dla reakcji prawidłowych i nieprawidłowych. Takie same obliczenia przeprowadzono dla czasu trwania reakcji. Istnieją podstawy statystyczne, aby stwierdzić, że jedynie w przypadku reakcji nieprawidłowych średni czas trwania reakcji na znak zakazu jest istotnie większy niż średni czas trwania reakcji na znak ostrzegawczy. W przypadku wszystkich pozostałych porównań nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o równości średnich.

Czas do rozpoczęcia reakcji w zależności od rodzaju uszkodzenia znaku poddano analizie wariancji. Hipoteza główna mówiła o równości wszystkich porównywanych średnich, których zestawienie znajduje się w Tabl. 1. Dane w tablicy zostały posortowane malejąco względem średnich czasów do rozpoczęcia prawidłowych reakcji. ANOVA została wykonana zarówno dla wszystkich reakcji łącznie, jak i osobno dla reakcji prawidłowych i nieprawidłowych. Warto zauważyć, że w przypadku braku uszkodzeń czas do rozpoczęcia reakcji prawidłowej jest najkrótszy wśród porównywanych,

It was checked whether the average time until the start point of reaction was statistically the same for correct and incorrect reactions. The Student's t-test was used, as the most powerful tool that could be used in this case taking into account the sample size. Prior to that Levene and Brown and Forsythe tests for homogeneity of variance were done. When both of the above-mentioned tests gave grounds for rejecting the main hypothesis, the Student's t-test was carried out for independent means, with separate variance estimation. The results obtained demonstrate there were no grounds for rejecting the hypothesis that the mean times till the start point of reaction differ significantly between correct and incorrect reactions. The significance level of  $\alpha=0.05$  was adopted for all the tests carried out in this research.

The same approach was used for analysing the time of duration of correct and incorrect reactions. It confirmed that there are grounds for rejection of the hypothesis on the equality of the means, and the mean time of duration of incorrect reactions is statistically longer than the mean time of correct reaction duration. It was checked if the time till the start point of reaction was statistically the same for warning and prohibitory signs. The test was carried out for all reactions taken together and separately for correct and incorrect ones. The same computations were carried out for the duration time of subject's reaction. There are statistical grounds to conclude that only for incorrect reactions the mean time of duration of reaction to a prohibitory sign is significantly longer than the mean time of reaction to a warning sign. For all other comparisons there are no grounds for rejecting the hypothesis on the equality of the means.

z kolei w przypadku reakcji nieprawidłowych jest on najdłuższy. W żadnej sytuacji nie było podstaw do odrzucenia hipotezy głównej o równości badanych średnich.

ANOVA została również wykonana dla czasu trwania reakcji. Analizowane średnie zestawiono w Tabl. 2 i uporządkowano rosnąco według średnich czasów trwania reakcji prawidłowych. W żadnym z analizowanych przypadków nie było podstaw do odrzucenia hipotezy głównej o równości porównywanych średnich.

Table 1. Average times to start the reaction according to the type of damage

Tablica 1. Średnie czasy do rozpoczęcia reakcji według rodzaju uszkodzeń

Type of damage Rodzaj uszkodzenia	All reactions Wszystkie reakcje [s]	Correct reactions Reakcje prawidłowe [s]	Incorrect reactions Reakcje nieprawidłowe [s]
No damage / Brak	0.963344	0.756451	1.473680
1 panel damaged / Uszkodzony 1 panel	0.858541	0.831092	0.924420
Blue envelope / Obwiednia niebieska	0.903959	0.887811	0.943708
3-elements damages / Trójelementowe	0.921420	0.907509	0.963151
3 panels damaged / Uszkodzone 3 panele	0.786673	0.929983	0.605648
Green envelope / Obwiednia zielona	0.931861	1.003284	0.803300
White to pink / Biały na różowy	1.085602	1.095896	1.065014
Widespread local damages / Punktowe	0.988522	1.116626	0.781116

Table 2. Average reaction times according to the type of damage

Tablica 2. Średnie czasy trwania reakcji według rodzaju uszkodzeń

Type of damage Rodzaj uszkodzenia	All reactions Wszystkie reakcje [s]	Correct reactions Reakcje prawidłowe [s]	Incorrect reactions Reakcje nieprawidłowe [s]
Widespread local damages / Punktowe	2.428205	2.089291	2.976922
White to pink / Biały na różowy	2.512986	2.283925	2.971107
Green envelope / Obwiednia zielona	2.631418	2.615764	2.659593
3-elements damages / Trójelementowe	2.957365	2.718342	3.674431
No damage / Brak	2.691100	2.731843	2.590600
3 panels damaged / Uszkodzone 3 panele	3.208081	2.839950	3.673088
1 panel damaged / Uszkodzony 1 panel	2.962459	2.874142	3.174420
Blue envelope / Obwiednia niebieska	2.938397	2.897861	3.038177

The analysis of variance was carried out for the time till the start of reaction depending on the type of sign defect. The main hypothesis postulated the equality of the compared means as listed in Table 1. The data shown in this table are listed in decreasing order in relation to the mean times till the start point of correct reaction. ANOVA was carried out for all types of reaction taken together and separately for correct and incorrect reactions. Note that for signs without defects the time till the start of correct reaction is the shortest among all times, while it is the longest in the case of incorrect reactions. In no case there were ground for the rejecting the main hypothesis on the equality of the analysed means.

ANOVA was carried out also for the duration time of subject's reaction. The analysed mean values are compiled in Table 2, listed in the increasing order of mean duration times of correct reactions. In neither of the analysed cases there were grounds for rejecting the main hypothesis on the equality of the means under study.

## 4. WNIOSKI

Piktogramy symulujące proces zużywania się diod LED, prezentujące piksele w barwie różowej zamiast białej, zostały zaklasyfikowane przez osoby badane jako poprawne. Zmiana koloru obwiedni znaków wpłynęła natomiast na proces zrozumienia przekazywanej treści. Uczestnicy eksperymentu reagowali na nie niezgodnie z Kodeksem Ruchu Drogowego, nieodpowiednio klasyfikując je np. jako znaki nakazu zamiast zakazu. Osoby badane wskazywały jako znaki błędne te, których obwiednia była w barwie zielonej. Jednocześnie uczestnicy identyfikowali jako uszkodzone te znaki, których treść została zmodyfikowana za pomocą generatora pseudolosowego. Z powyższego wynika, iż stopień dekompozycji znaku wpływa na zrozumienie i zastosowanie się do wyświetlanej informacji. Słusznym wydaje się być przeprowadzenie badań celem ustalenia optymalnych parametrów charakterystycznych piktogramów (grubość kreski oraz obwiedni znaków, stopień szczegółowości).

Na podstawie danych uzyskanych w trakcie ankietyzacji zaobserwowano przełożenie płci, wieku, stażu kilometrowego oraz wady wzroku na zachowanie kierowcy, widzącego uszkodzony znak.

## INFORMACJE DODATKOWE

Pracę wykonano pod kierunkiem naukowym profesora Andrzeja W. Mitasa, pod opieką Aleksandra Koniora, w ramach bilateralnej Umowy o Współpracy między Politechniką Śląską i APM Konior Piwowarczyk Konior Spółka z o.o.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Mitas A.W., Konior A., Konior W.: Optyczne cechy znaków VMS w aspekcie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, **95**, 2013
- [2] Tay R., De Barros A.: Effectiveness of Road Safety Messages on Variable Message Signs. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, **10**, 3, 2010, 18-23
- [3] Kornalewski L., Szczepaniak Z., Mitas A.W.: Warunki Techniczne - Znaki drogowe o zmiennej treści ZZT-2011. IBDiM, Seria I nr 83, Warszawa, 2011
- [4] Mitas A.W., Konior A., Konior W.: Znaki zmiennej treści w aspekcie kąta dystrybucji wiązki świetlnej. Transport Problems, IV International Conference, 2012

## 4. CONCLUSIONS

Pictograms simulating the LEDs wear, showing pixels in pink instead of white colour were rated by the subjects as correct. However, the change of the colour of the signs border had an effect on the process of understanding of the displayed message. The participants responded to such signs in a manner which was not in agreement with the Highway Code, classifying them wrongly, for instance, as mandatory signs instead of prohibitory signs. Signs with border in green colour were rated as incorrect. However also signs modified with a pseudorandom generator were considered defective. Therefore it appears that the degree of sign's decomposition is relevant to understanding and following of the message displayed on the sign. Further research is advisable to determine optimum parameters of characteristic pictograms (stroke weight, thickness of the sign frame, degree of detail).

The data obtained from the subjects participating in the test show that the sex, the age, the number of kilometres driven and vision defects all have an effect on the behaviour of the driver presented with a defective sign.

## ACKNOWLEDGEMENT

The scientific advice of prof. A.W. Mitas and A. Konior, provided within a bilateral agreement between Silesian University of Technology and APM Konior Piwowarczyk Konior Limited Liability Company, is gratefully acknowledged.

- [5] Guattari C., De Blasiis M.R., Calvi A.: The Effectiveness of Variable Message Signs Information: A Driving Simulation Study. Procedia - Social and Behavioral Sciences, SIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures, **53**, 2012, 692-702
- [6] Dutta A., Fisher D.L., Noyce D.A.: Use of a driving simulator to evaluate and optimize factors affecting understandability of variable message signs. Transportation Research, Part F: Traffic Psychology and Behaviour, **7**, 4-5, 209-227
- [7] Liu Jing Ch., Yun-ling W., Juan X.: A study on Variable Message Signs graphical comparison. Procedia - Social and Behavioral Sciences, **96**, 2013, 2523-2528
- [8] Erke A., Sagberg F., Hagman R.: Effects of route guidance variable message signs (VMS) on driver behavior. Transportation Research, Part F, **10**, 6, 2007, 447-457

- [9] *Chien-Jung L.*: Effects of color scheme and message lines of variable message signs on driver performance. *Accident Analysis and Prevention*, **42**, 4, 2010, 1003-1008
- [10] *Lee C., Kim S. W., Lee S.*: Optimal check up and replacement periods of variable message signs: a case of the Seoul metropolitan transportation center. *Journal of Advanced Transportation*, **45**, 3, 2011, 173-185
- [11] PN-EN 12966-1+A1:2013 Pionowe znaki drogowe – Drogowe znaki informacyjne o zmiennej treści – Część 1: Norma wyrobu