

LESŁAW BICHAJŁO<sup>1)</sup>  
TADEUSZ SANDECKI<sup>2)</sup>

## ANALIZA WPŁYWU UKSZTAŁTOWANIA I WYPOSAŻENIA WYBRANYCH MOSTÓW Z DOJAZDAMI NA PERCEPCJĘ WZROKOWĄ KIEROWCÓW

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu ukształtowania i wyposażenia mostu i dojazdu na percepcję wzrokową kierowców. Badania przeprowadzono w trzech etapach. W ramach pierwszego etapu przeprowadzono studia dokumentacji zdarzeń i wypadków na mostach. W drugim etapie przeprowadzono ankietowe badania preferencji kierowców. W trzecim etapie wykonano badania interakcji wzrokowej kierowców z drogą na moście i dojeździe. Do badań wybrano 10 doświadczonych kierowców i cztery, zróżnicowane pod względem ukształtowania i wyposażenia, odcinki dróg z mostami. Badania wykazały zróżnicowanie postrzegania wzrokowego na każdym z czterech analizowanych odcinków. Na podstawie badań przeprowadzonych w tym etapie, opracowano zależność (model matematyczny), pozwalającą związać cechy mostów i odcinków dojazdowych z natężeniem sakad, która to wielkość charakteryzuje postrzeganie wzrokowe kierowcy w trakcie jego interakcji z drogą.

### 1. WSTĘP

Uwzględnienie czynnika ludzkiego w projektowaniu obiektów komunikacyjnych jest koniecznością. Wśród kierujących pojazdami jest coraz większa liczba młodych i niedoświadczonych kierowców oraz osób z dużym doświadczeniem, jednak o zmniejszonym

<sup>1)</sup> dr inż. – Politechnika Rzeszowska

<sup>2)</sup> prof. dr hab. inż. – Politechnika Warszawska

poziomie percepcji, związanym z podeszłym wiekiem. Kierowcy podczas jazdy samochodem są dodatkowo angażowani myślowo przez rozmowy telefoniczne, systemy pokładowe, czy sprawy rodzinne i zawodowe.

W końcu XX wieku naukowcom udało się skonstruować aparaturę badawczą, która umożliwiła poznawanie procesów postrzegania i przetwarzania informacji przez człowieka. W tej dziedzinie szczególną rolę odgrywa aparatura przeznaczona do pomiaru ruchu oczu. Rozpoznanie ruchów oczu i ich skojarzenie ze stanem uwagi, znalazło zastosowanie najpierw w lotnictwie, a obecnie także w inżynierii komunikacyjnej. Rozwinięto programy badawcze z zastosowaniem symulatorów samochodowych w celu testowania wpływu różnorodnych czynników na postrzeganie wzrokowe drogi. Dzisiejsza wiedza o procesach myślowych wyzwalanych przez postrzeganie wzrokowe, nakazuje zwrócenie uwagi na przypadki incydentalne, jak na przykład przejazd przez krótki most. W nich często kryje się przyczyna niebezpiecznych zdarzeń, nazywana „błędem człowieka”.

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Założono, że celem badań będzie sprawdzenie, czy ukształtowanie i wyposażenie mostu oraz dojazdu na tyle różni się od ukształtowania i wyposażenia drogi, że stanowi utrudnienie dla kierowców. W szczególności autorów interesowało:

- dlaczego mimo spełnienia przez projektantów i wykonawców wymagań określonych przepisami projektowania mostów i dróg oraz wiedzą techniczną stwierdza się, że przejazd przez niektóre obiekty bywa niewygodny, stresujący, nieergonomiczny?
- czy są sposoby identyfikacji źródeł tych oddziaływań oraz przeciwdziałania im?

Poczyniono założenia, że analizowane będą mosty z „jazdą górą” wraz z dojazdami, położone na zamiejskich dwupasowych drogach dwukierunkowych. Nałożenie tych ograniczeń wynika z faktu, iż w Polsce zdecydowaną większość stanowią takie właśnie drogi i mosty.

## 3. KSZTAŁTOWANIE ODCINKÓW DRÓG Z MOSTAMI

Obowiązujące zalecenia w zakresie kształtowania odcinka drogi z mostem są ogólne, a niektóre sformułowania odwołują się do nieściśłego pojęcia „dojazd”. Pozostawia to pewną swobodę projektowania, która nie zawsze prowadzi do poprawnych rozwiązań (rys.1 i 2).

Bezpieczeństwo jazdy zależy między innymi od dostępnej dla kierowcy jakości informacji wzrokowej. Tej informacji dostarczają elementy drogi i mostu, których wzajemne dostosowanie wpływa na właściwą percepcję drogi i odczucie niezmienności warunków drogowych. Płynne połączenie drogi z mostem jest szczególnie istotne na odcinkach krzywoliniowych w planie i w przekroju podłużnym. Na tych odcinkach

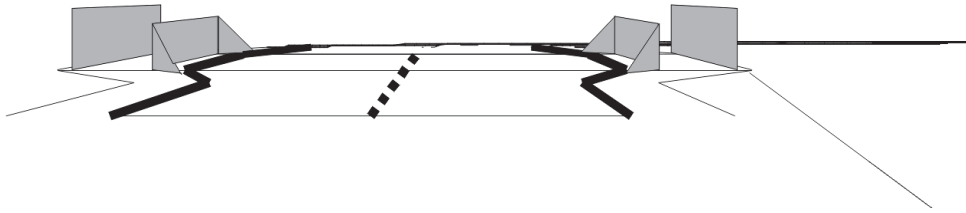
bariery ochronne i poręcze mogą przesłaniać widoczność jezdni, chodniki z barierami przy krawężniku mogą wywoływać wrażenie zwężenia, a zmienny przebieg krawędzi jezdni nie informuje kierowcy o przestrzeni dostępnej dla prowadzonego przez niego pojazdu (rys. 3 i 4) [1].



Rys.1. Most, którego przekroju poprzecznego nie dostosowano do przekroju drogowego  
Fig.1. The bridge not aligned to the approach

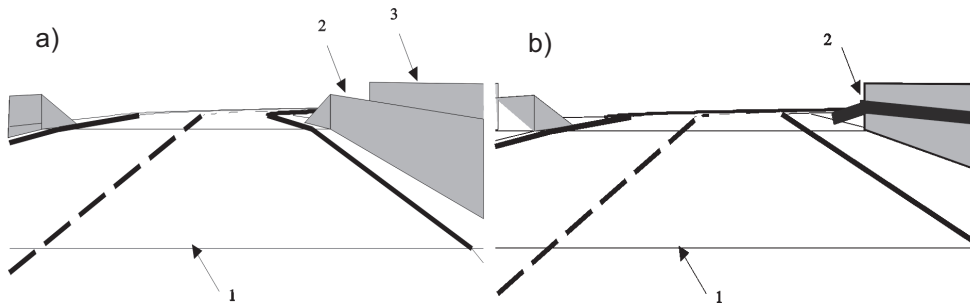


Rys.2. Most o przekroju poprzecznym dostosowanym do przekroju drogowego  
Fig.2. The bridge aligned to the approach



Rys.3. Wrażenie złamania krawędzi jezdni poszerzonej na moście obustronnie po 0,5 m ze skosem 1 : 40 przy wjeździe i zjeździe z mostu, spotęgowane barierkami i poręczkami (pola zacienione); widok perspektywiczny z wysokości 1 m nad jezdnią

Fig.3. Negative effect of left and right 0.5 m pavement widening (skew 1 : 40); the perspective view at 1 m over the pavement level



Rys.4. Wpływ lokalizacji bariery ochronnej i ukształtowania krawędzi jezdni na rozpoznawalność wjazdu w łuk poziomy w prawo; widok perspektywiczny z wysokości 1 m nad jezdnią:

a) rozwiązanie z barierką przy krawężniku, b) rozwiązanie z barieroporęczką, 1 – dylatacja, 2 – bariera ochronna, 3 – poręcz

Fig.4. The influence of guard rail settlement and road border profile on right-curve recognition; the perspective view at 1 m over the pavement level:

a) when the guard rail is close to the curb, b) when the guard rail is joined to the balustrade 1 – joint, 2 – guard rail, 3 – balustrade

## 4. BADANIA

### 4.1. UWAGI OGÓLNE

Zaplanowano przeprowadzenie badań w trzech etapach. Wyniki i wnioski z każdego zakończonego etapu badań, miały decydować o zakresie i kierunku badań w kolejnym etapie.

Plan całości badań był następujący:

- analiza danych o zdarzeniach drogowych, w tym sprawdzenie, czy wskaźnik wypadków na mostach odbiega od wskaźnika wypadków na drogach,

- ankieta, w celu poznania spostrzeżeń i odczuć kierowców z przejazdów przez odcinki dróg z mostami,
- obiektywne badania instrumentalne z użyciem systemu do pomiaru parametrów ruchu gałek ocznych, których celem było zbadanie wpływu zróżnicowania ukształtowania i wyposażenia kilku odcinków dróg z mostami na percepcję wzrokową kierowców.

## 4.2. ANALIZA KART WYPADKÓW I ZDARZEŃ DROGOWYCH

Analizowano dane o zarejestrowanych przez policję zdarzeniach (wypadkach i kolizjach) z lat 1995-1999 na mostach województw: rzeszowskiego, krośnieńskiego i przemyskiego. Uzyskano dane o 24200 zdarzeniach drogowych. Z tego w obrębie mostów było 0,76 % ogółu zdarzeń. Zdarzeniami były: najechania na przeszkody w postaci „słupów i innych elementów dróg” w 30 przypadkach, potrącenia pieszych w 11 przypadkach, najechanie na wybój lub garb – w 3 przypadkach. Dużą liczbę stanowiły zderzenia tylne – 58 przypadków. W czterech przypadkach policja nie ustaliła przyczyn. Śmierć poniosły 4 osoby, 47 osób było rannych.

Ustalono, że udział zdarzeń drogowych na mostach Podkarpacia (0,76 %) jest prawie pięciokrotnie większy niż udział długości mostów w długości dróg (0,16 %). Przy suchej nawierzchni zdarzenia na mostach stanowiły 0,41 % ogółu zdarzeń. Zatem udział tych zdarzeń był ponad 2,5 krotnie większy niż udział długości mostów w długości dróg.

## 4.3. BADANIA ANKIETOWE KIEROWCÓW

Nadrzędnym celem ankiety było uzyskanie informacji o tym, czy ankietowani kierowcy odczuwają różnicę między jazdą drogą i mostem, a także które elementy drogi i mostu o tym decydują. Celem drugorzędnym było poznanie preferencji kierowców w zakresie oznakowania dróg na długości mostów i dojazdów. Odpowiednio do postawionych celów, sformułowano pytania ankietowe. Treść pytań (w celu uniknięcia ich dwuznaczności) oraz metodę obróbki ankiety skonsultowano z psychologiem. W ankiecie wzięło udział 41 osób z wykształceniem średnim i wyższym, o różnym doświadczeniu w prowadzeniu samochodu, ale nie będących kierowcami zawodowymi. Każda osoba otrzymywała formularz ankiety i była proszona o udzielenie odpowiedzi „tak” lub „nie” (w formie pisemnej).

Formularz ankiety zawierał pytania podzielone merytorycznie na trzy sekcje.

Sekcja pierwsza zawierała pytania charakteryzujące badaną osobę.

W sekcji drugiej zadano pytanie główne: „czy przejeżdżanie przez mosty/wiadukty stanowi dla Pani/Pana różnicę w stosunku do jazdy drogą?” oraz pytania dodatkowe, rozszerzające odpowiedź na powyższe pytanie.

Pytano o odczucie:

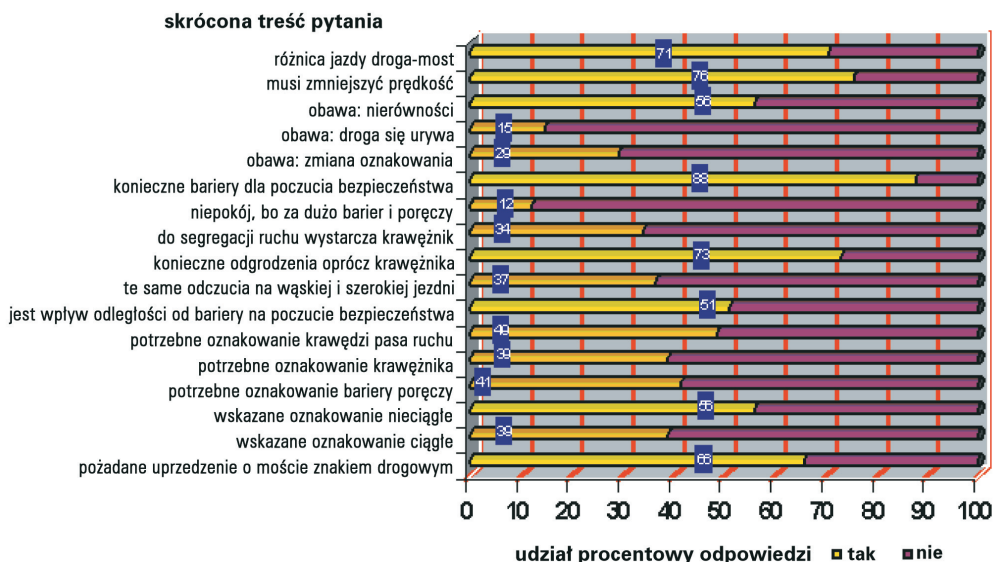
B1.	obawy, że przy wjeździe na most są duże nierówności
B2.	że droga na moście „urywa się” – nie widać jej dalszego przebiegu
B3.	że następuje nagle zmiana jakości i ilości oznakowania poziomego i pionowego
B4.	że dla poczucia bezpieczeństwa na każdym obiekcie powinny być bariery ochronne
B5.	że nagromadzenie poręczy, barier energochłonnych wprowadza niepokój
B6.	konieczności zmniejszenia prędkości przy dojeżdżaniu do mostu/wiaduktu
B7.	że wystarczające jest oddzielenie krawężnikami ruchu pieszych
B8.	że konieczne jest oddzielenie przegrodami, mimo krawężnika, ruchu pieszego od samochodowego
B9.	czy te same odczucia towarzyszą badanemu na mostach o szerokiej jak i wąskiej jezdni?
B10.	czy odczucia te są związane z odległością bariery/poręczy od krawędzi jezdni?

W sekcji trzeciej zadano pytania o sugestie co do rozwiązań konstrukcyjnych, elementów wyposażenia i oznakowania na obiektach mostowych oraz na dojazdach do nich.

Pytano:

C1.	czy uważa Pani/Pan, że powinny być ustawiane dodatkowe znaki drogowe, uprzedzające o dojeżdżaniu do mostu/wiaduktu?
B2.	czy uważa Pani/Pan, że na moście/wiadukcie powinny się znajdować elementy pokazujące w warunkach dobrej i złej widoczności przebieg: <ul style="list-style-type: none"> <li>• krawędzi pasa ruchu?</li> <li>• krawężnika?</li> <li>• bariery/poręczy?</li> </ul>
C3.	jeżeli tak, to czy powinny to być np. elementy odblaskowe rozmieszczone: <ul style="list-style-type: none"> <li>• w pewnych odstępach?</li> <li>• powinny być w postaci ciągłej?</li> </ul>

Procentowy udział odpowiedzi na postawione w ankiecie pytania pokazano na rysunku 5 [2].



Rys.5. Zbiorcze wyniki badań ankietowych  
Fig.5. Results of questionnaire investigation

Ankietowani w zdecydowanej większości (71 %) wskazali odmienność przejazdu przez most, w stosunku do jazdy drogą bez mostu.

Na podstawie wyników badań ankietowych sformułowano następujące wnioski:

- I. Podczas przejazdu przez most kierowcy odczuwają zagrożenie bezpieczeństwa, co wyrazili potrzebą uprzedzenia ich o zbliżaniu się do niego specjalnymi znakami drogowymi (66%).
- II. Wpływ na odczucie zagrożenia bezpieczeństwa ma zarówno ukształtowanie jak i wyposażenie odcinka drogi z mostem. Niemożliwość rozpoznania przebiegu drogi za mostem wskutek ograniczenia widoczności została wskazana jako czwarty czynnik pod względem ważności. Wśród elementów wyposażenia, jako główne czynniki wskazano: odległość do bariery ochronnej (51 %), brak przegród oddzielających pieszych od jezdni (73 %) oraz zauważalną zmianę w standardzie oznakowania drogi.
- III. Bariery ochronne instalowane przy krawężniku jednocześnie odgradzają pieszych od jezdni. W świetle wniosku II. powinny one być odsunięte od jezdni, co sugeruje stosowanie przekroju poprzecznego mostu z „utwardzonymi poboczymi”, opaskami lub chodnikami.

IV. Krawędź pasa ruchu, niezależnie od krawężnika, powinna być wyraźnie oznaczona (49%), a jej przebieg powinien być płynny. Oznakowanie tej krawędzi powinno być elementami nieciągłymi (56 %).

Na podstawie ankiety niemożliwym było uzyskanie szczegółowych informacji, w jakich konkretnych przypadkach ukształtowania i wyposażenia mostu dochodzi do odczucia zróżnicowania warunków drogowych, stwarzającego zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Stąd postanowiono przeprowadzić badania percepcji wzrokowej na kilku wybranych odcinkach dróg z mostami, zróżnicowanych pod względem ukształtowania i wyposażenia.

## **4.4. BADANIA INTERAKCJI WZROKOWEJ KIEROWCÓW Z DROGĄ ZAWIERAJĄCĄ MOST**

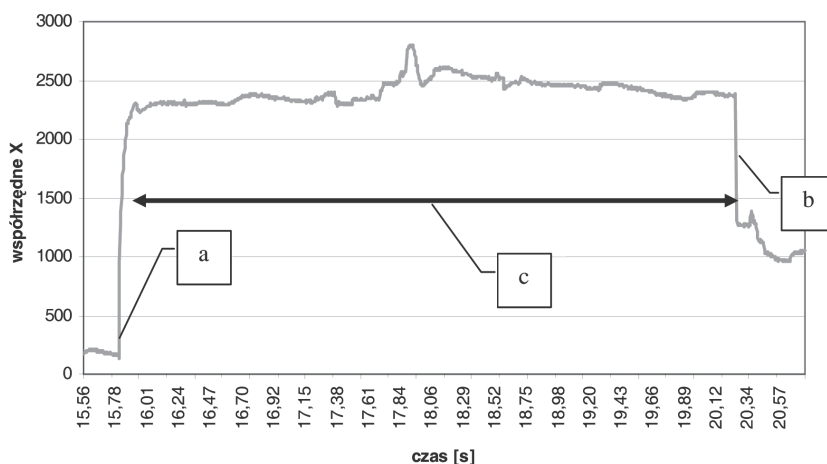
### **4.4.1. Przetwarzanie informacji wzrokowej przez człowieka**

Kierowca podejmuje działanie głównie na podstawie bodźców wzrokowych pozyskiwanych z otoczenia. Informacje pozyskane z otoczenia są przetwarzane przez mózg, który funkcjonalnie można podzielić na „mózg logiczny” („świadomy”) odpowiadający za procesy kontrolowane i „alogeniczny” („przedświadomy”) zajmujący się procesami niekontrolowanymi [3 - 4].

W oku za odbieranie informacji wzrokowych z otoczenia odpowiada przede wszystkim siatkówka. Za widzenie centralne (ostre) odpowiada plamka żółta. Sygnały z plamki żółtej są przesyłane do mózgu logicznego. Pozostała część siatkówki odpowiada głównie za widzenie peryferyjne. Widzenie to jest bardziej wrażliwe na zmianę oświetlenia niż część centralna, ale jest mniej wrażliwe na szczegóły obrazu i barwę. Pracuje jednak w „wyższej częstotliwości”, dzięki czemu szybciej wykrywa wszelki ruch w obrębie obrazu rzutowanego na siatkówkę. Sygnały z pola peryferyjnego są przesyłane do „mózgu alogicznego”, który ewentualnie podejmuje decyzję o zaangażowaniu „mózgu logicznego” do zidentyfikowania sygnału. Wówczas wzrok zostaje skierowany na obiekt będący źródłem sygnału.

Oczy pozostają w nieustannym ruchu. Wykonują one zamierzone, balistyczne skoki, nazywane sakadami, albo pozostają w stanie fiksacji (obserwacji) jakiegoś bodźca [5] (rys. 6). Kierowca pozyskuje informację zatrzymując (fiksując) wzrok na istotnych z punktu widzenia prowadzenia samochodu elementach drogi i jej otoczenia, a przenosząc go kolejno między nimi, wykonuje sakady. Zaangażowanie „mózgu logicznego” (świadomej uwagi) w nadzorowanie przebiegu czynności człowieka jest reprezentowane przez aktywność sakadyczną wzroku. Interakcja pomiędzy człowiekiem i nadzorowanym przez niego procesem istnieje tak długo, jak długo występują sakady [6].





Rys.6. Ruchy oka: a, b – sakada, c – fiksacja  
 Fig.6. Eye movements: a, b – saccade, c – fixation

Kierowanie pojazdem w warunkach normalnych, bez utrudnień, jest zachowaniem zautomatyzowanym, będącym w kompetencji „mózgu alogicznego”. Zmiana warunków drogowych powoduje przejęcie sterowania pojazdem przez „mózg logiczny”. Jego zadaniem w pierwszej kolejności jest uzyskanie nowej, aktualnej informacji wzrokowej o sytuacji na drodze. W tym celu „mózg logiczny” przełącza się w tryb eksploracji wzrokowej, której towarzyszy przenoszenie linii wzroku na charakterystyczne punkty drogi [7]. W czasie eksploracji wzrokowej tworzony jest model odcinka trasy drogowej oraz symulowany jest w wyobraźni przejazd nią. Służy on przygotowaniu działań – reakcji motorycznych kierowcy. Dopiero po wytestowaniu takiego modelu w „myślach” kierowca wjeżdża na przed chwilą analizowany odcinek, współbieżnie wykorzystując zasoby „mózgu alogicznego”. Realizuje on wtedy wypracowany wcześniej model przejazdu. Możliwe są nieznaczne korekty modelu w czasie rzeczywistym. Na wprowadzenie tych korekt musi jednak wystarczyć czasu.

#### 4.4.2. Opis przeprowadzonych badań interakcji wzrokowej kierowców z drogą zawierającą most

Celem tych badań było sprawdzenie, jakie rozmieszczenie elementów drogi na moście i dojeździe wpływa na utrudnienie percepcji wzrokowej. Interesującym było, czy jest możliwe porównanie płynności i jednorodności drogi na moście i dojeździe za pomocą obiektywnych parametrów opisujących ruchy gałek ocznych.

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. W tym celu przygotowano materiał filmowy z przejazdu samochodem osobowym przez cztery odcinki dróg z mostami (rys. 7).



Rys.7. Widoki ogólne wybranych do badań odcinków dróg z mostami  
 Fig.7. General views of bridges with approaches

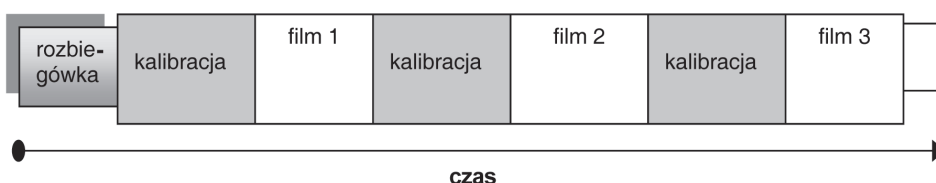
Do nagrania użyto kamery analogowej zainstalowanej w samochodzie na wysokości oczu kierowcy (rys. 8).



Rys.8. Mocowanie kamery rejestrującej w samochodzie  
 Fig.8. The video-recorder fastening

Na czas filmowania ruch drogowy był zatrzymany. Filmowane odcinki różnią się między sobą szerokością jezdni, chodników, ukształtowaniem w planie i przekroju podłużnym oraz usytuowaniem elementów wyposażenia, jak bariery ochronne, poręcze, urządzenia sygnalizacyjne i dylatacyjne. Odcinki te znajdują się w ciągu dróg krajowych i wojewódzkich. Oznaczono je literami L, W, Z i J. Podczas filmowania użyto jednego samochodu, prowadzonego przez jednego kierowcę.

Nagrane filmy podzielono na fragmenty odpowiadające długości przejazdów przez każdy z analizowanych odcinków. Następnie pomiędzy te fragmenty wstawiono klatki z obrazami służącymi kalibracji systemu pomiarowego (rys. 9). Kalibracja systemu polegała na określeniu współrzędnych oczu podczas fiksacji wzroku na punktach leżących w narożnikach ekranu.

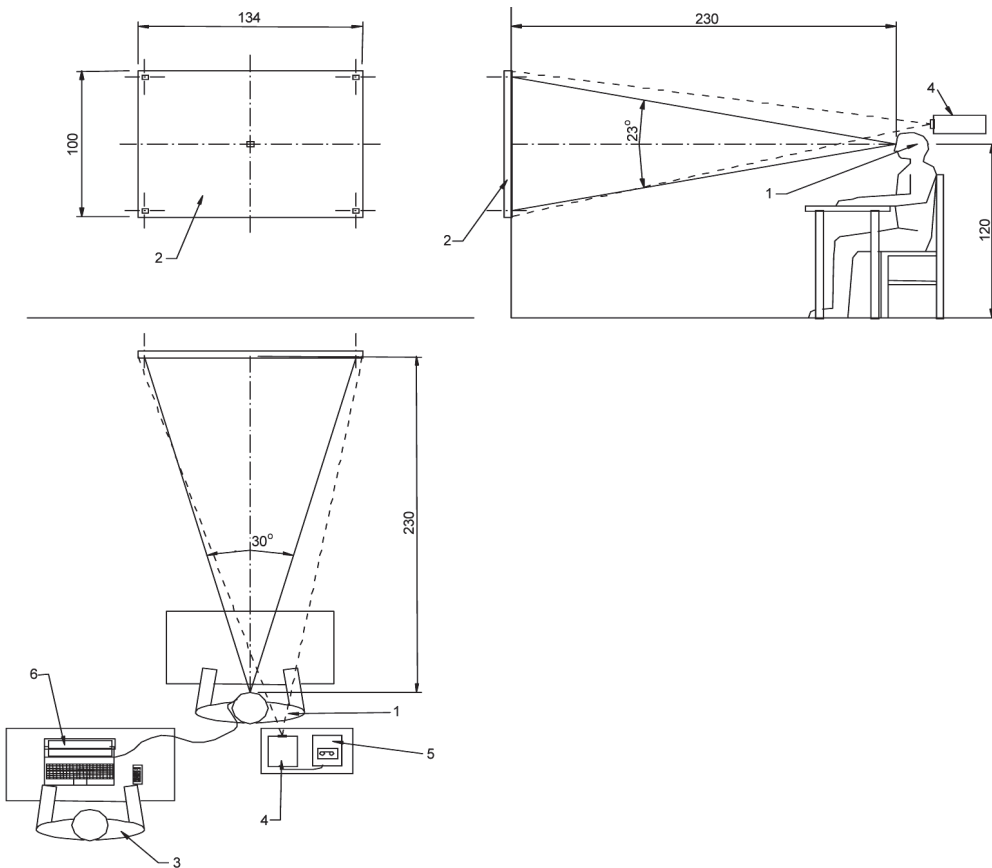


Rys.9. Sposób montażu filmów do prezentacji uczestnikom badań  
Fig.9. The components of video presentation

W badaniach przyjęto podział każdego odcinka drogi na jednorodne wycinki, charakteryzujące się stałością analizowanych zmiennych: istnieniem barier drogowych (gdy były zainstalowane, rozróżniano ich usytuowanie: „blisko” – gdy bariera była przy krawędzi jezdni i „daleko” – gdy była przy zewnętrznej krawędzi pobocza), przebiegiem osi drogi w planie (prosta/łuk), warunkami widoczności (ograniczenie jej łukiem pionowym wypukłym lub nie), zainstalowaniem oznakowania pionowego, widocznością mostu z danego wycinka, oraz czy był wycinek dojazdu czy drogi na moście. W ten sposób wydzielono: 11 wycinków na odcinku L, 8 wycinków na odcinku W, 7 wycinków na odcinku Z i 6 wycinków na odcinku J.

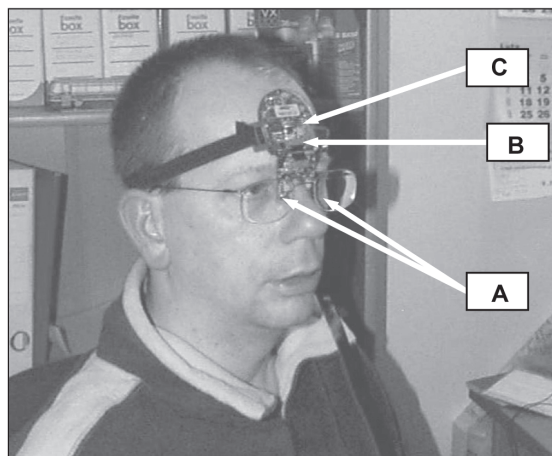
Uczestników badań dobrano w taki sposób, aby stanowili jednorodną grupę. Wszyscy uczestnicy byli w wieku 32 - 40 lat, przejeżdżający w roku co najmniej 10 tysięcy kilometrów. W badaniach ogółem wzięło udział 14 osób. Z tej grupy dwie osoby brały udział w fazie badań wstępnych, 1 osoba oznaczona miała nieznaczną wadę wzroku (rozbieżność gałek ocznych), a pliki z zapisem badań jednej osoby uległy uszkodzeniu. Uczestnicy badań próbnych nie byli zapraszani do udziału w badaniach docelowych. W pomieszczeniu laboratoryjnym urządzono stanowisko badawcze. Jego schemat pokazano na rysunku 10.

W badaniach wykorzystano system pomiarowy – multisensor Cyclops™ JAZZ. System „Jazz” mierzy wypadkową ruchów obydwu gałek ocznych, na zasadzie śledzenia położenia uwypuklenia rogówkowego lewego i prawego oka. Składa się z głowicy pomiarowej montowanej na głowie uczestnika badań (rys. 11), połączonej z przetwornikiem, który transmituje sygnał do komputera PC [6].



Rys.10. Stanowisko badawcze: 1 – badany kierowca, 2 – ekran projekcyjny, 3 – operator ,  
 4 – rzutnik multimedialny, 5 – magnetowid, 6 – komputer  
 Fig.10. The test stand: 1 – tested driver, 2 – screen, 3 – investigator, 4 – projector,  
 5 – video player, 6 – notebook

Wysunięto hipotezę, że obciążenie uwagi związane z wewnętrzną oceną ważności bodźców wzrokowych, powinno być równomierne na całej długości przejeżdżanego odcinka drogi. Zróżnicowanie aktywności sakadycznej wzroku sugeruje, że obciążenie uwagi się zmienia. Przyczyną tych zmian jest spostrzeżenie lub poszukiwanie bodźców – elementów odniesienia wzrokowego – informujących kierowcę o ukształtowaniu i wyposażeniu drogi.



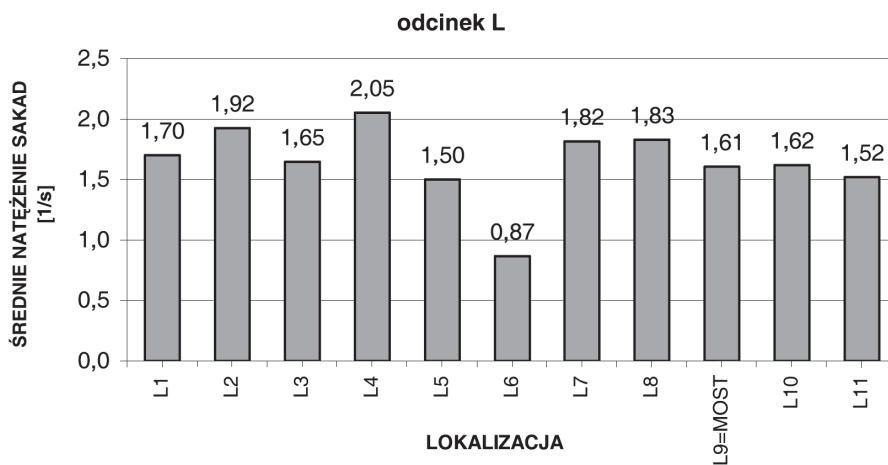
Rys.11. Głowica systemu pomiarowego „Jazz” w położeniu pomiarowym:

- A – czujniki położenia gałek ocznych,
- B – czujniki sygnału fotopletyzmoграфicznego,
- C – czujniki przyspieszeń ruchu głowy

Fig.11. "Jazz" system head:

- A – eye position sensors,
- B – photoplethysmographic sensors,
- C – head-acceleration sensors

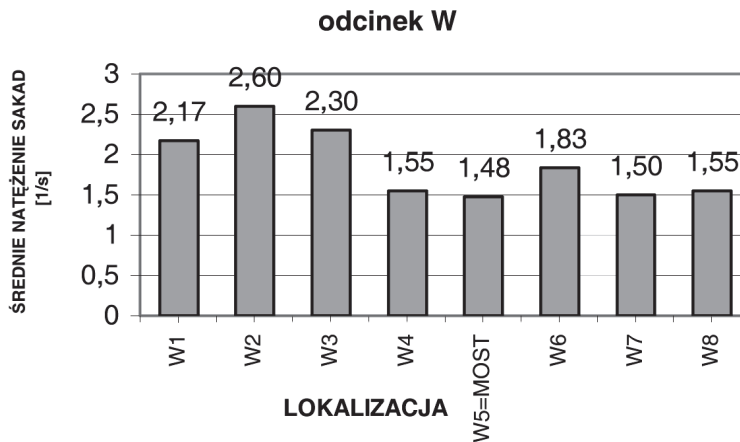
Jako miarę obciążenia uwagi zastosowano natężenie sakad (średnia liczba ruchów sakadycznych u wszystkich uczestników na danym wycinku, podzielona przez jego długość, wyrażoną w sekundach). Zmienność natężenia sakad na długości poszczególnych odcinków pokazano na rysunkach 12 - 15.



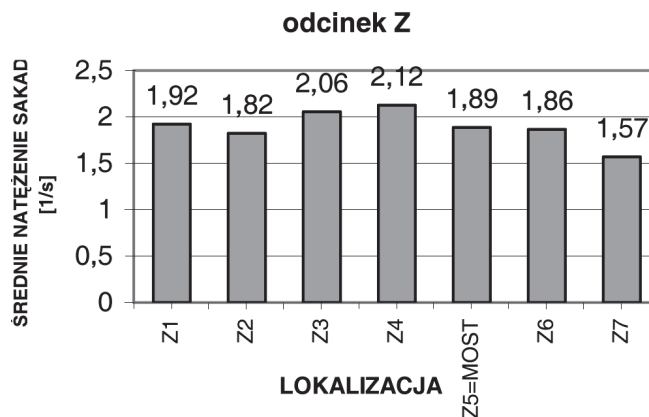
Rys.12. Średnie natężenie sakad na wycinkach L1 - L11

Fig.12. Average saccades density – section L1 - L11

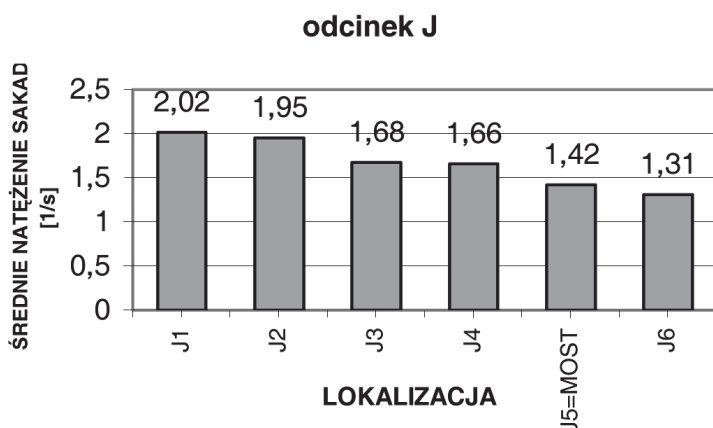
Na odcinku „L” natężenie sakad zmieniało się gwałtownie na wycinkach zlokalizowanych bezpośrednio przed mostem. Oznacza to gwałtownie zmienne zapotrzebowanie badanych kierowców na pozyskiwanie i przetwarzanie informacji wzrokowych wywołane zmiennością warunków drogowych. Charakterystyczne na tym odcinku jest również utrzymywanie się wysokiej wartości natężenia sakad na długości mostu, co świadczy o zapotrzebowaniu mózgu na nowe, niedostępne wcześniej informacje wzrokowe, potrzebne do wytworzenia modelu mentalnego pozostałego odcinka drogi. Na odcinkach „W”, „Z” i „J” natężenia sakad nie zmieniały się w tak dużym zakresie i tak gwałtownie jak na odcinku „L”.



Rys.13. Średnie natężenie sakad na wycinkach W1 - W8  
Fig.13. Average saccades density – section W1 - W8



Rys.14. Średnie natężenie sakad na wycinkach Z1 - Z7  
Fig.14. Average saccades density – section Z1 - Z7



Rys.15. Średnie natężenie sakad na wycinkach J1 - J6  
 Fig.15. Average saccades density – section J1 - J6

#### 4.5. MODEL NATĘŻENIA SAKAD, UWZGLĘDNIAJĄCY JAKOŚCIOWE CHARAKTERYSTYKI ODCINKÓW DRÓG Z MOSTAMI

Na podstawie wyników badań ruchów oczu skonstruowano model – zależność matematyczną, wiążącą natężenie sakad ze zmiennymi jakościowymi, opisującymi wycinki dróg. Użyto zmiennych charakteryzujących na moście i dojeździe przebieg sytuacyjny i wysokościowy drogi, jakość widoczności, charakterystykę przekroju poprzecznego oraz położenie elementów wyposażenia. Zmienne te na długości każdego analizowanego wycinka drogi przyjmują wartość 0 lub 1, a zmiana którejkolwiek z nich oznacza przejście na kolejny wycinek o jednorodnych cechach. Do prognozowania natężenia sakad posłużono się metodą regresji wielokrotnej, uwzględniającej równocześnie wiele czynników i zachodzących między nimi interakcji.

Ogólna postać równania regresji wielokrotnej jest następująca (1):

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_jx_j, \quad (1)$$

gdzie:

- $a$  – czynnik stały,
- $b_j$  – estymatory zmiennych niezależnych,
- $x_j$  – wartości zmiennych niezależnych.

Przed wykonaniem właściwych obliczeń statystycznych sprawdzono korelacje pomiędzy zmiennymi. Dwie zmienne skorelowane ze sobą i z inną zmienną usunięto z modelu. W celu bieżącej oceny prawidłowości przyjętego modelu, obliczenia przeprowadzono metodą krokową. Przyjęto zalecaną wartość progową współczynnika

tolerancji 0,99. Oznacza to, że zmienna użyta w modelu nie jest zbyteczna w 99 %. W obliczeniach uzyskano współczynnik determinacji równy 0,745 (wyjaśnia on 74,5 % pierwotnej zmienności, a w zmienności resztowej pozostaje 25,5 %).

Ostatecznie otrzymano następującą postać równania regresji (2):

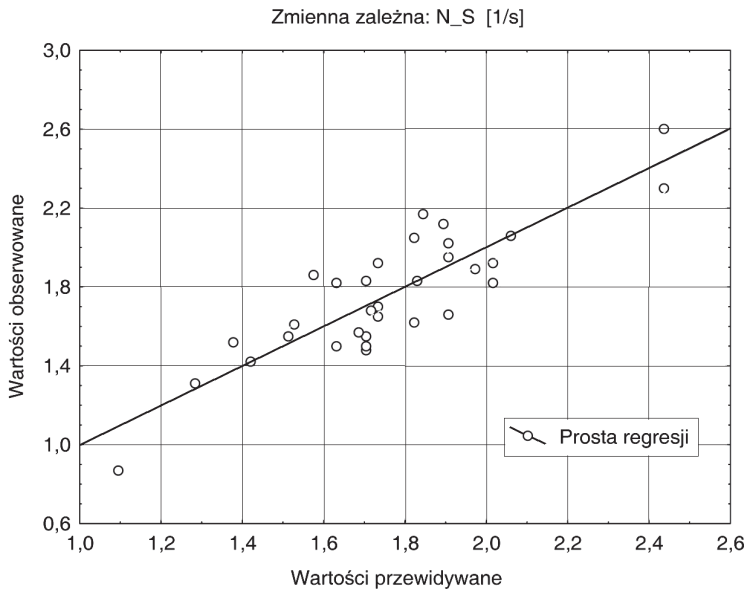
$$NS = 1,907 + 0,11 Z + 0,445 W - 0,3 SM - 0,264 Pu_l + \\ + 0,092 Pu_p + 0,593 BL_d - 0,623 BP_d + 0,266 BL_b + \quad [1/s] \quad (2) \\ - 0,189 BP_b - 0,457 PB - 0,371 BLZ - 0,301 BPZ - 0,236 ZP ,$$

w którym:

- $NS$  – natężenie sakad [1/s],
- $W$  – widoczność powierzchni nawierzchni:  
wartość 1 gdy ograniczona, 0 gdy dobra,
- $Z$  – łuk w planie:  
wartość 1 gdy dany wycinek jest w łuku poziomym, 0 gdy nie,
- $SM$  – widoczność powierzchni nawierzchni:  
wartość 1 gdy ograniczona, 0 gdy dobra,
- $Pu_l$  – pobocze utwardzone lewostronne: 1 gdy jest, 0 gdy nie ma,
- $Pu_p$  – pobocze utwardzone prawostronne: 1 gdy jest, 0 gdy nie ma,
- $BL_d$  – bariera lewostronna: 1 gdy jest daleko (przy zewnętrznej krawędzi pobocza), 0 gdy nie ma lub jest blisko (przy krawędzi jezdni),
- $BP_d$  – bariera prawostronna:  
1 gdy jest daleko, 0 gdy nie ma lub jest blisko,
- $BL_b$  – bariera lewostronna blisko:  
1 gdy jest blisko, 0 gdy daleko lub nie ma,
- $BP_b$  – bariera prawostronna blisko:  
1 gdy jest blisko, 0 gdy daleko lub nie ma,
- $PB$  – wycinek z przeszkodą boczną (chodnik, bariera na przedłużeniu utwardzonego pobocza): 1 gdy jest przeszkoda, 0 gdy nie ma.
- $BLZ$  – bariera lewostronna zasłania część jezdni:  
1 gdy zasłania, 0 gdy nie,
- $BPZ$  – bariera prawostronna zasłania część jezdni: 1 gdy zasłania,  
0 gdy nie,
- $ZP$  – pierwszy wycinek, z którego przeszkoda boczna jest widoczna:  
1 gdy widoczna, 0 gdy nie.



Na rysunku 16 pokazano wykres rozrzutu wartości przewidywanych względem wartości obserwowanych natężenia sakad.



Rys. 16. Wykres rozrzutu wartości przewidywanych względem obserwowanych zmiennej „natężenie sakad”

Fig.16. The relationship between recorded and expected saccades density

#### 4.6. PROPOZYCJA ZASTOSOWANIA WYNIKÓW BADAŃ PERCEPCJI WZROKOWEJ

Wstawiając do wzoru (2) dane charakteryzujące ukształtowanie projektowanej drogi i rozmieszczenie wyposażenia można na każdym jednorodnym wycinku obliczyć prognozowane natężenie sakad, wyrażające obciążenie uwagi wzrokowej kierowców. Obliczone natężenie sakad można porównać z wartościami natężeń na wycinkach wzorcowych. W przeprowadzonych badaniach jako wzorce odcinków bez mostu zaproponowano wycinki J1 i J2, gdzie oś drogi jest linią prostą, nie ma łuku pionowego, nie ma utwardzonych poboczy i elementów wyposażenia. Na tych wycinkach średnie natężenie sakad u uczestników badań wynosiło po zaokrągleniu 2,0. Na mostach, przez które przejazd nie stanowił istotnej różnicy w stosunku do jazdy odcinkami dojazdowymi natężenie sakad miało średnią wartość 1,45.

Zatem jako kryterium poprawności ukształtowania i wyposażenia analizowanych mostów z dojazdami można przyjąć:

- osiągnięcie wartości natężenia sakad „2” dla dojazdu lub „1,45” dla mostu, z tolerancją  $\pm 0,21$  wynikającą z błędów estymacji,

- minimalizowanie różnicy natężenia sakad na sąsiednich jednorodnych wycinkach oraz unikanie sytuacji, gdy różnica ta zmienia znak (płynne zwiększanie lub zmniejszanie się zapotrzebowania na pobieranie informacji wzrokowej).

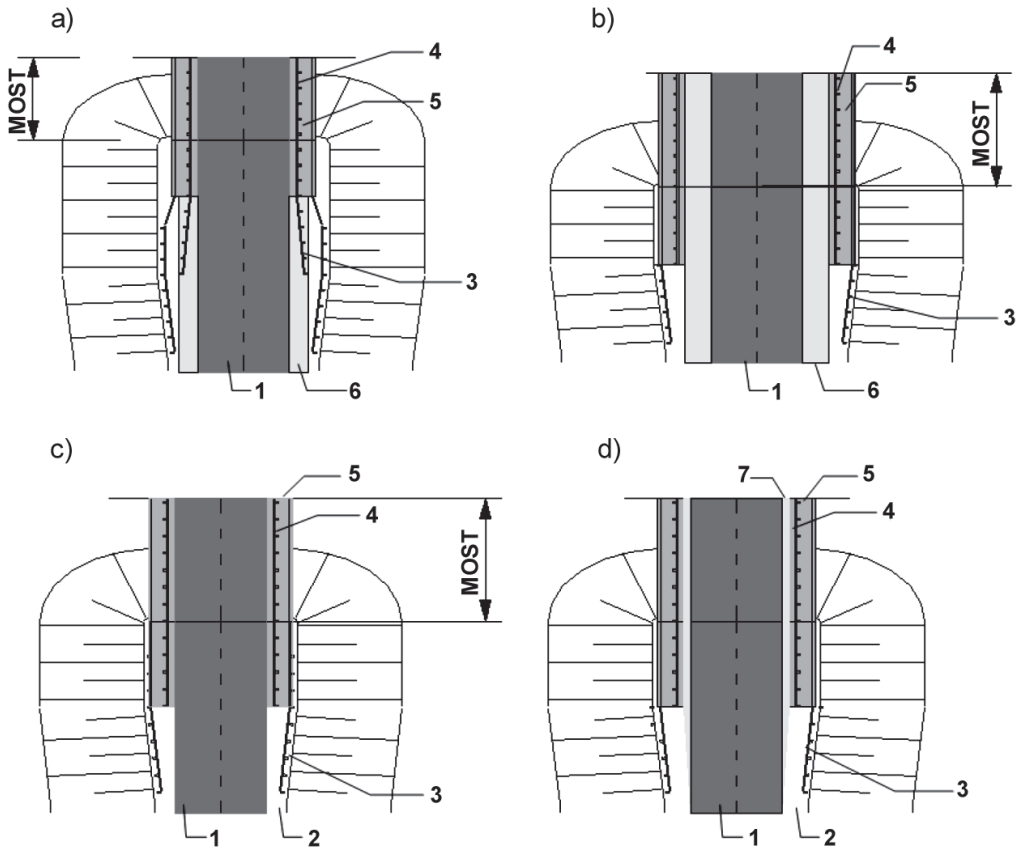
Niespełnienie powyższych kryteriów może uzasadniać zmianę ukształtowania i/lub wyposażenia drogi na odcinkach obejmujących dojazd, most i zjazd z mostu.

Podane wyżej wartości krytyczne natężenia sakad odnoszą się do mostów wytypowanych do badań. Wartości tych nie należy uogólniać dla wszystkich mostów.

## 5. PODSUMOWANIE

W oparciu o badania sformułowano następujące wnioski końcowe:

- Przeprowadzone badania potwierdziły twierdzenie, że most i dojazdy do mostu powinny wraz z drogą stanowić jednorodną całość, gdyż dysharmonia ukształtowania i wyposażenia mostu i dojazdów obniża standard warunków drogowych, a także zwiększa zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego.
- Największy wpływ na zmiany percepcji wzrokowej mają: rozmieszczenie barier ochronnych, występowanie przeszkód bocznych (chodników, barier przy krawędzi jezdni) oraz ograniczenie widoczności powierzchni jezdni, w tym również elementami wyposażenia. Nieoczekiwane wystąpienie zmiany może stanowić dystraktor dla uwagi wzrokowej kierowców.
- Zasady projektowania dróg i mostów powinny być uzupełnione o wytyczne kształtowania drogi w obrębie mostu i dojazdu, z uwzględnieniem elementów wyposażenia. Szczególnie istotne są przejścia utwardzonych poboczy w chodniki oraz rozmieszczenie barier, poręczy, osłon i krawężników, stanowiących przeszkody boczne.
- Jeżeli droga jest wyposażona w utwardzone pobocza, to ze względu na pożądaną przebieg procesu percepcji wzrokowej u kierowców, most w jej ciągu powinien być wyposażony w identycznej szerokości pobocza, a chodniki w przekroju poprzecznym mostu powinny być zlokalizowane za tymi poboczami (rys. 17).
- Na odcinku mostu i dojazdu ocena ukształtowania i wyposażenia dwupasowej drogi dwukierunkowej o prędkości podróży zbliżonej do zastosowanej w badaniach symulacyjnych, tj. 60 km/h., może być dokonywana za pomocą kryterium percepcji wzrokowej. Metoda wymaga przetestowania przy innych prędkościach jazdy.
- W przypadku istniejącego mostu położonego w łuku w planie, na którym na przedłużeniu utwardzonego pobocza zlokalizowano chodnik, barierę po stronie wewnętrznej można zastąpić barierą-poręczą, nie ograniczającą lub w mniejszym stopniu ograniczającą pole widoczności. Jest to uzasadnione tym, że siła bezwładności działa na samochody w kierunku bariery zewnętrznej.
- Jeżeli na dojazdach jest oznakowanie poziome liniami krawężniowymi, to oznakowanie to powinno być wykonane również na moście bez względu na to, czy jest on wyposażony w krawężniki.
- Badania należy kontynuować z udziałem większej liczby kierowców, z symulacją różnych prędkości jazdy oraz rozszerzyć je o mosty o większej długości.



Rys.17. Przykładowe niewłaściwe (a, c) i właściwe (b, d) usytuowanie chodników i barier ochronnych:

- 1 – jezdnia, 2 – gruntowe pobocze,  
 3 – bariera ochronna „drogowa”, 4 – bariera ochronna „mostowa”,  
 5 – chodnik, 6 – utwardzone pobocze/opaska,  
 7 – odsunięcie krawężnika podobne jak odsunięcie wysp na skrzyżowaniach skanalizowanych

Fig.17. Correct (a, c) and incorrect (b, d) settlement of footways and guard rails:

- 1 – pavement, 2 – unpaved shoulder,  
 3 – „road”guard rail, 4 – „bridge”guard rail,  
 5 – sidewalk, 6 – paved shoulder,  
 7 – distance like for islands on channelized intersection (ca. 0.6 m)

## BIBLIOGRAFIA

- [1] *Bichajło L.*: Niektóre niedoskonałości geometrycznego kształtowania przebudowywanych mostów. XII Seminarium „Współczesne metody wzmacniania i przebudowy mostów”, Poznań 2002, 18 - 24
- [2] *Bichajło L., Tarnowski A.*: Własności użytkowe mostów w ocenie badanych kierowców. II Sympozjum „Diagnostyka i badania mostów”, Opole 2003, 129 - 133
- [3] *Ober J.*: Wykłady w Politechnice Warszawskiej i Politechnice Rzeszowskiej, 2001
- [4] *Sternberg R.J.*: Psychologia poznawcza. WSiP, Warszawa 2001
- [5] *Ober J.K., Ober J.J.*: Ruch oka i metody jego pomiaru. Polska Akademia Nauk-Exit 2000, Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, tom II, 909 - 934,
- [6] *Ober J.K., Ober J.J., Gryncewicz W., Dylak J., Balcer M., Pałeczka D.*: Monitorowanie parametrów psychofizjologicznych operatora systemu – multisensor „Jazz”. XII Krajowa „Konferencja Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna”, Warszawa 2001
- [7] *Bichajło L., Ober J.*: Interakcja wzrokowa kierowców z drogą przebiegającą przez most. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa Koszycko-Lwowsko-Rzeszowska, Koszyce 2002, 17 - 22

## THE INFLUENCE OF DESIGN AND EQUIPMENT OF THE BRIDGE WITH APPROACHES ON DRIVER'S VISUAL PERCEPTION

### Abstract

The paper demonstrates that changes in the design of approach and bridge are significant for drivers and can interfere with correct visual perception. This conclusion is a result of analysis performed in three stages.

The first stage is an investigation of road accidents on bridges. The accident factor related to bridges was greater than accident factor related to roads. The main results of accidents on bridges were collisions with parapets, guardrails, pedestrians and back-to-front collisions. The police investigations couldn't explain reasons of many accidents. The conclusion was that the cause of unexplained accidents can be an inappropriate design of approaches and bridges.

The second stage is the analysis of driver preferences. It was prepared as a survey, with questions about:

- the feeling of differences in driving on roads and bridges,
- preferences related to location and marking of curbs, parapets, guardrails and
- obstacles on bridges (making the driving difficult and dangerous).

Obtained data show that the influence of some of the bridge equipment is significant in relation to differences in driving on roads and bridges.

The third stage is the analysis of visual perception on four different roads with bridges. The films of driving along these roads were presented in laboratory for ten participants. Each participant had the eye movement measuring system mounted on the head. During this test eye

movements were recorded by the measuring system. Next, the eye movements were analyzed for each bridge and approach. According to the design and equipment parameters on each road and bridge, differences of eye movements (the density of saccades) were found. Through statistical analysis, the equation in order to relate the density of saccades to the design and equipment parameters was created. For correct visual perception the following factors are significant: the visibility, lane width changes, the road and bridge curvature, the distance between driver and guardrail, visibility limitation due to guardrail, sideway obstacles (curbs, parapets, guardrails, narrowness) and the bridge visibility.