

mgr inż. JOANNA KAMIŃSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Okulografia w ocenie ergonomicznej stanowisk pracy – przykłady

W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania okulografii w ergonomii. Rejestrację okulograficzną pod względem oceny pola obserwacji stanowiska pracy przeprowadzono na stanowisku pracy motorniczego tramwaju oraz na stanowisku operatora wózka widłowego w magazynie. W celu oceny zmęczenia narządu wzroku pracowników biurowych przeprowadzono rejestrację okulograficzną podczas wykonywania testów przed, i po zakończeniu pracy.

Eye-tracking in ergonomics workstation assessment – examples

This paper presents examples of the use of eye-tracking in ergonomics. Eye-tracking registration was used in assessing the workstations of a tram driver and a forklift operator in a warehouse. Eye fatigue of office workers was evaluated with eye-tracking registration before and after their work hours.



Fot. Jirsa/Bigstockphoto

Wstęp

Ergonomia to nauka zajmująca się dostosowaniem technicznego środowiska, np. pracy, do możliwości psychofizycznych człowieka. Takie czynniki, jak struktura stanowiska pracy czy rozmieszczenie poszczególnych jego elementów wpływają na obciążenie pracownika oraz na efektywność pracy. Wzrost tempa procesów oraz ilości informacji dostarczanych pracownikom na stanowiskach pracy (np. decyzyjnych, sterowniczych) wymusza ich odpowiednią organizację w celu zmniejszenia obciążenia pracujących, związanego z odbiorem i przetwarzaniem informacji, głównie – wizualnych.

Do oceny ergonomicznej oraz oceny obciążenia i zmęczenia pracowników na stanowiskach pracy związanych z wykonywaniem zadań o dużych wymaganiach poznawczych wykorzystywane są między innymi metody oparte na rejestracji percepcji wzrokowej człowieka. Do śledzenia ruchów gałek ocznych (często także z jednoczesną rejestracją pola widzenia osoby badanej) służy okulograf (*eyetracker*).

W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania okulografii (*eyetrackingu*) w ergonomii i fizjologii – do oceny obciążenia

narządu wzroku pracowników oraz rejestracji pola obserwacji stanowiska pracy.

Kilka słów o okulografii

Początki okulografii sięgają 1897 roku, gdy Edmund Burke Huey skonstruował pierwsze urządzenie do pomiaru ruchu oczu [1]. Najnowszy sprzęt eyetrackingowy umożliwia rejestrację krótkotrwałych ruchów (o czasie trwania kilku tysięcznych sekundy) z bardzo dużą precyzją, dlatego też zwiększa się zakres zastosowania okulografów – są m.in. wykorzystywane w marketingu. Okulografia przydatna jest w okulistyce, diagnostyce chorób neurologicznych oraz w badaniach dysleksji i autyzmu. W psychologii okulografię stosuje się do badania interakcji społecznych (np. wykrywania kłamstwa na podstawie kierunku spojrzenia rozmówcy), odczytywania emocji z twarzy, badań procesów podejmowania decyzji czy badań reklamy wizualnej [2].

Do oceny percepcji wzrokowej pracowników wykorzystywane są głównie fiksacje, czyli skupienie wzroku na danym elemencie (w danym punkcie) oraz sakady, którymi są szybkie ruchy oka (przeskoki) zachodzące pomiędzy kolejnymi fikscjami. Analizowana jest m.in. liczba sakad podczas testu/zadania, liczba

sakad w odniesieniu do różnych obszarów zainteresowania (AOI), czas trwania sakady, jej amplituda i prędkość, czas trwania fiksacji oraz ich rozproszenie. Z czasu trwania fiksacji i liczby fiksacji w danym obszarze można wnioskować, jak badany obszar (np. element stanowiska pracy, produkt na półce sklepowej) skupia uwagę, a im krótszy jest czas do pierwszej fiksacji, tym wyższa zdolność badanego elementu do skupiania uwagi [3, 4]. Z kolei liczba fiksacji na analizowanym elemencie może świadczyć m.in. o jego ważności i zauważalności w procesie percepcji [3]. Świadome przetwarzanie informacji potrzebnej do analizy przeczytanego tekstu zachodzi w czasie 50-120 ms dla słowa (w zależności od jego długości) od początku fiksacji. W przypadku obrazu jest to czas 45-75 ms dla badanej sceny.

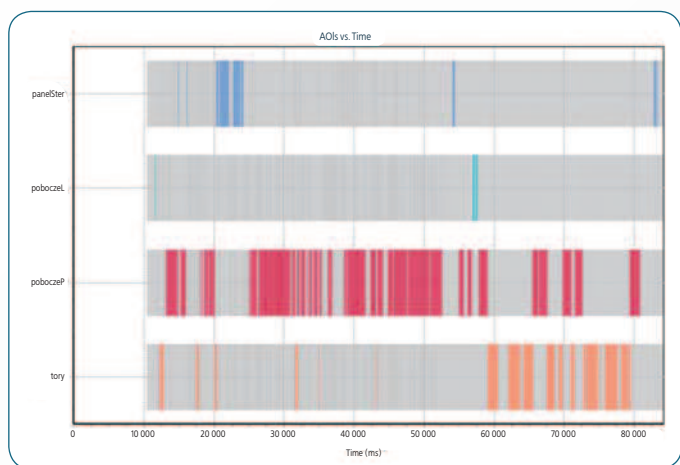
Ocena pola widzenia motorniczego tramwaju

Rejestrację okulograficzną w ramach badań prowadzonych przez CIOP-PIB na stanowisku pracy motorniczego tramwaju przeprowadzono na torze treningowym [5], co umożliwiło ocenę pola widzenia motorniczego podczas pracy bez wpływu na bezpieczeństwo ruchu



Fot. 1. Motorniczy podczas badania pola widzenia z zastosowaniem okulografu przenośnego

Photo 1. Tram driver during the eye-tracking registration



Rys. 1. Schemat patrzenia na poszczególne obszary zainteresowania w czasie jazdy
Fig. 1. Areas of Interest (AOI) when driving

drogowego i pasażerów (fot. 1.). Badania dotyczyły jednego pracownika na jednym stanowisku pracy.

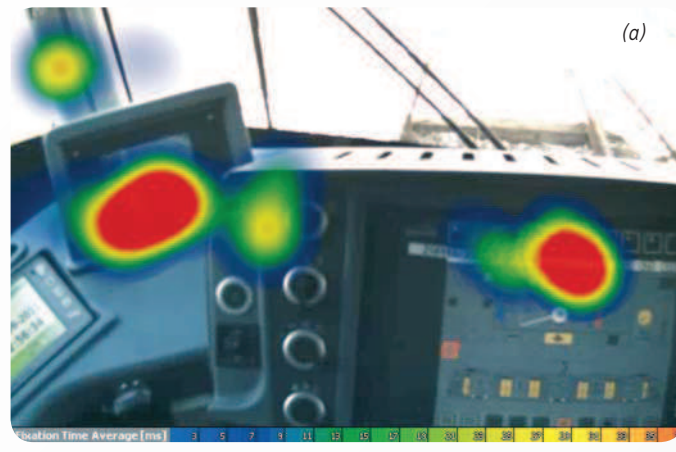
Rejestrację przeprowadzono z zastosowaniem okulografu przenośnego firmy SMI. Czas rejestracji okulograficznej podczas jazdy tramwajem do przodu i do tyłu wynosił ok. 15 minut. Do szczegółowej analizy wybrano rejestrację trwającą 1,5 minuty. Tak zwane mapy ciepłe (termiczne) za pomocą barw odwzorowują natężenie skupienia uwagi podczas obserwacji przez motorniczego elementów sterowniczych i paneli monitoringu (fot. 2a) oraz trasy przejazdu tramwaju i jego otoczenia (fot. 2b). Zgodnie z zasadą interpretacji, im bardziej czerwony obszar, tym dłuższy jest czas patrzenia na niego, czyli tym większa uwaga skupiła się na tym obszarze.

Pole widzenia motorniczego podczas jazdy podzielono na obszary zainteresowania (AOI): pobocze prawe, pobocze lewe, tory oraz panel sterowania. Najdłuższy czas obserwacji był dla prawego pobocza – 63% czasu jazdy do przodu, na panel sterowania motorniczy patrzył przez 8%, na tory – 3% czasu. Schemat

patrzenia na poszczególne obszary zainteresowania w funkcji czasu jazdy prezentuje rys. 1. Rozpoczynając jazdę maszynista skupiał wzrok szczególnie na prawym poboczu (gdzie znajdowali się ludzie) oraz na panelu sterowania. Podczas jazdy wzrok przenoszony był głównie między torami a prawym poboczem. Obserwacja pracy maszynisty umożliwiła także stwierdzenie, iż elementy, na których najdłużej i najczęściej skupiany jest wzrok pracownika, znajdują się w polu jego widzenia – nie wymagają od pracownika przyjmowania wymuszonej, niewygodnej pozycji ciała. Tory tramwaju oraz ich otoczenie były dobrze widoczne, co zapewniało komfort pracy wzrokowej.

Ocena pola widzenia operatora wózka widłowego w magazynie

Rejestrację okulograficzną pracy operatora wózka widłowego w magazynie przeprowadzili pracownicy CIOP-PIB w 2011 roku [5]. W przypadku tego stanowiska pracy rejestracja trwała około 10 minut, a do analizy wybrano krótsze, ok. 1-minutowe odcinki. Zwrócono uwagę na różnice w czasie obserwacji poszczególnych



(a)



(b)

Fot. 2. Schemat obserwacji przez motorniczego elementów sterowniczych i wskaźnikowych (a) oraz torowiska i jego otoczenia (b)

Photo 2. The driver watching controls and indicators (a) and tram route and its surroundings (b)

obszarów zainteresowania podczas jazdy na wprost (rys. 2.) i podczas wykonywania innych czynności (rys. 3.). Badania dotyczyły jednego pracownika na jednym stanowisku pracy.

Podczas jazdy na wprost szeroką aleją pracownik zwracał uwagę szczególnie na drogę przed sobą (39% czasu obserwacji) oraz na pobocza: lewe (19%) i prawe (17%). Analiza dłuższego nagrania pokazała, że wykonywanie dodatkowych czynności zmniejszało zainteresowanie pracownika drogą do 29% czasu obserwacji.

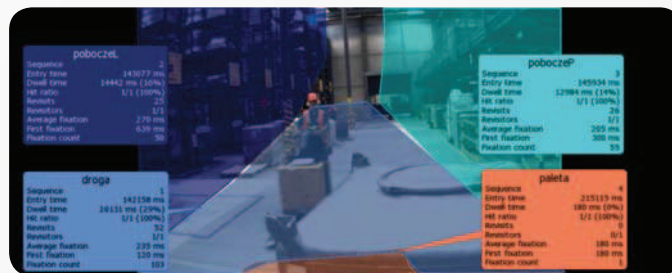
Na podstawie schematu patrzenia w czasie jazdy wózkiem widłowym stwierdzono, że pracownik częściej przenosił wzrok na poszczególne obszary niż motorniczy tramwaju – liczba elementów w otoczeniu wózka widłowego oraz prędkość przemieszczania się nim mogą wymuszać takie właśnie zachowanie.

Ocena zmęczenia pracownika biurowego

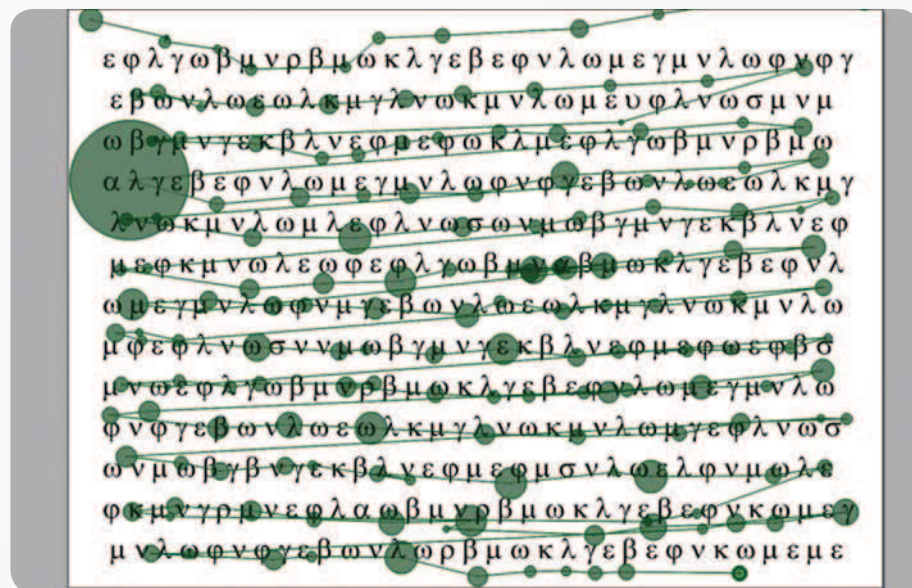
W celu oceny zmęczenia pracowników biurowych przeprowadzono rejestrację z zastosowaniem okulografu stacjonarnego zintegrowanego z monitorem, na którym wyświetlane



Rys. 2. Schemat obserwacji przez operatora pola widzenia przed wózkiem podczas jazdy na wprost z podziałem na obszary zainteresowania
Fig. 2. Areas of Interest (AOI) when driving forward



Rys. 3. Schemat obserwacji przez operatora pola widzenia przed wózkiem podczas jazdy (jazda na wprost, zmiana kierunku jazdy, pobieranie i odkładanie towaru) z podziałem na obszary zainteresowania
Fig. 3. Areas of Interest (AOI) when driving forward, changing the direction of driving, and collecting and depositing a product



Rys. 4. Przykładowe ścieżki wzroku pracownika biurowego w trakcie wyszukania na ekranie znaków „α”
Fig. 4. Sample eye-paths of a subject searching for the character “α” on the screen

były bodźce dla osób badanych. Rejestracje przeprowadzone zostały dwukrotnie: przed rozpoczęciem pracy i po jej zakończeniu, a każdy pomiar trwał ok. 10 minut. Badania przeprowadzono przy udziale 11 pracowników: 9 kobiet i 2 mężczyzn o średniej wieku 36 lat. Badanie składało się z kilku zadań, polegających na wodzeniu wzrokiem po ekranie, na przykład za przemieszczającym się punktem, utrzymaniu uwagi w jednym nieruchomym punkcie przez dłuższy czas oraz wyszukiwaniu na ekranie wybranych znaków (cyfr, liter) i ich zliczaniu. Rejestracje umożliwiły m.in. analizę ścieżki wzroku podczas wyszukiwaniu na ekranie znaków „α” (rys. 4.). Średnice kół na rysunku są proporcjonalne do czasów fiksacji wzroku w danym punkcie. Widoczne jest dłuższe zatrzymanie wzroku na symbolu „α” w 4 linii, ominięcie i powrót do symbolu „α” w 6 linii oraz niezauważenie tego symbolu w 12 linii na ekranie.

Przeprowadzona analiza prędkości sakad (*saccadic peak velocity*) w odniesieniu do całej grupy wykazała, że podczas badania popołudniowego mniejsza jest zarówno średnia

prędkość sakad, jak i prędkość szczytowa, co może świadczyć o zmęczeniu narządu wzroku pracowników. Potwierdzają to doniesienia literaturowe, w których można odnaleźć informacje, że mniejsze szczytowe prędkości sakad mogą świadczyć o zmęczeniu umysłowym pracownika [6].

Podsumowanie

Przedstawione przykłady pokazują możliwości zastosowania *eyetrackingu* do oceny stanowisk pracy, szczególnie do określenia elementów pola pracy, które najczęściej przyciągają wzrok pracownika, co może świadczyć o ich istotności w procesie pracy. Dzięki rejestracjom okulograficznym możliwe też jest określenie zmęczenia narządu wzroku związanego z wykonywaniem pracy.

Główne korzyści z wykorzystania badań okulograficznych w ergonomii to możliwość postrzegania stanowiska pracy „oczami pracownika” oraz porównania deklaracji osoby badanej z rzeczywistym postrzeganiem elementów stanowiska pracy bądź elementów prezentowanych na ekranie monitora.

Na podstawie rejestracji można stwierdzić, jaki jest schemat obserwacji poszczególnych elementów stanowisk pracy, które z nich częściej skupiają wzrok, a które są przez pracownika niezauważane. Przeprowadzenie badań na większej grupie osób dałoby możliwości m.in. porównania postrzegania poszczególnych elementów stanowiska pracy przez różne osoby, na przykład pracowników z doświadczeniem i początkujących. Badania z zastosowaniem okulografu stacjonarnego umożliwiają ocenę obciążenia narządu wzroku pracowników na podstawie porównania wybranych parametrów z rejestracji przed pracą i po jej zakończeniu.

Rejestracja okulograficzna daje duże możliwości analizy ergonomicznej poszczególnych elementów stanowiska pracy pod względem ich rozmieszczenia i oznaczenia oraz oceny zmęczenia umysłowego pracowników.

PIŚMIENICTWO

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking
- [2] Krejtz I., Krejtz K., Bielecki M. *Zastosowanie analizy ruchu oczu w badaniach społecznych*. „Psychologia Społeczna”, 2008, 1, 6:73-86
- [3] Poole, A., Ball, L. J., & Phillips, P. *In search of salience: A response time and eye movement analysis of bookmark recognition*. In S. Fincher, P. Markopolous, D. Moore & R. Ruddle (Eds.) *People and Computers XVIII-Design for Life: Proceedings of HCI*, London, Springer-Verlag Ltd. 2004
- [4] Byrne M. D., Anderson J. R., Douglas S. & Matessa M. *Eye tracking the visual search of clickdown menus*. *Proceedings of CHI'99*, 1999:402-409
- [5] Kamińska J. *Opracowanie stanowiska i metodyki badań okulograficznych dla zastosowań ergonomicznych*. Sprawozdanie etapowe, CIOP-PIB, 2011
- [6] Di Stasi L. L., Renner R., Staehr P., Helmert J. R., Velichkovsky B. M., Cañas J. J., Catena A. *Saccadic peak velocity sensitivity to variations in mental workload*. „Aviation, Space and Environmental Medicine” 2010, 81:413-417

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2001-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.