

TOMASZ OPACH  
Katedra Kartografii Uniwersytetu Warszawskiego  
topach@uw.edu.pl

## Zastosowanie okulografii (techniki *eye-tracking*) w kartografii

Zarys treści. W artykule omówiono okulografię (*eye-tracking*) jako technikę badawczą wykorzystywaną w kartografii. Przedstawiono jej założenia, stosowane rozwiązania sprzętowe oraz zarysowano historię jej wykorzystania w różnych dyscyplinach, koncentrując się na badaniach z zakresu użytkowania map. Zaakcentowano najważniejsze wyzwania badawcze stojące przed kartografami pragnącymi ją wykorzystać.

Słowa kluczowe: okulografia, pomiar ruchu gałek ocznych, *eye-tracking*, użytkowanie map

### 1. Wprowadzenie

Okulografia czyli znany z literatury angielskojęzycznej *eye-tracking* to ogół technik badawczych polegających na obiektywnym śledzeniu i zwykle rejestrowaniu ruchu gałek ocznych, najczęściej w celu uzyskania informacji o ścieżce utworzonej w czasie wodzenia wzrokiem po oglądanym obrazie, przedmiocie – lub mówiąc ogólnie – w czasie widzenia (K. Marasek 2006). Ze względu na rozwiązanie, jakie owe techniki wykorzystują, stosowane jest również nieco niefortunne sformułowanie „pomiar ruchu gałek ocznych”. Wspomniana niefortunność wynika stąd, że ruch gałek ocznych owszem jest rejestrowany za pomocą specjalnej aparatury pomiarowej, jednak nie on jest najczęściej celem samym w sobie. Na podstawie ruchu oczu odtworza się bowiem ścieżki utworzone przez punkty, na które kierowany był wzrok w czasie wodzenia po przedmiocie, obrazie. Innymi słowy, w celu określenia zmian położenia punktu, na który kierujemy wzrok, mierzony jest właśnie ruch gałek ocznych.

Przez wiele lat *eye-tracking* jawił się jako technika osobliwa i to nie tylko w kartografii, lecz również w innych dziedzinach zainteresowanych jej wykorzystaniem – psychologii lub

ergonomii. Zdaniem różnych autorów (np. A. Çöltekin i inni 2009; A.T. Duchowski 2007) kosztowna, trudna do opanowania i zastosowania, wykorzystywana była rzadko i przez nielicznych. W ostatnich latach zyskała na popularności, zwłaszcza w badaniach ergonomii interfejsów programów komputerowych (A. Poole, L.J. Ball 2005; J.H. Goldberg, X.P. Kotval 1999) oraz badaniach poświęconych aspektom użytkowemu stron internetowych (J. Nielsen, K. Pernice 2010; A. Bojko 2006; L. Cowen i inni 2002). *Eye-tracking* zagościł również na stałe w kartografii i nauce o informacji przestrzennej (*GI Science*), stając się zarówno narzędziem badań efektywności map (np. A. Çöltekin i inni 2010; S.I. Fabrikant i inni 2010; X. Li i inni 2010; A. Çöltekin i inni 2009; S.I. Fabrikant i inni 2008), jak również przedmiotem dociekań kartografów pragnących poznać jego przydatność w badaniach np. walorów użytkowych map (L. Brodersen i inni 2002). Dawna osobliwość wynikająca z ograniczeń sprzętowych oraz kosztu- i czasochłonności straciła częściowo na aktualności. *Eye-tracking* stał się bardziej osiągalny dla kartografów.

Niewątpliwie słabą stroną kartografii jako nauki jest brak klarownej metodologii badań, gwarantującej naukowe podejście do wiedzy, czyli opierającej się na warsztacie naukowym, a nie na intuicji bądź podejściu „rzemieślniczym”. Dla kartografii jako nauki ważne jest zatem wypracowanie metod badawczych gwarantujących naukowy sposób podejścia do wiedzy, z systematyczną obserwacją, hipotezami możliwymi do sprawdzenia i krytyczną postawą (J. Shaughnessy i inni 2002). Sposobem pozyskiwania metod badawczych jest ich zapożyczanie z innych dyscyplin, np. psychologii lub socjologii.

Przykładem takiego podejścia może być właśnie wywodzący się z psychologii *eye-tracking*.

Literatura poświęcona technice *eye-tracking* jest bardzo bogata (K. Rayner 1998). Dominują publikacje, w których przedstawiane są rezultaty konkretnych badań z wykorzystaniem tej techniki. Częste są prace poświęcone problemom metodycznym. Zdarzają się również monografie poświęcone jej w całości. Takim właśnie opracowaniem jest napisana przez A.T. Duchowskiego książka *Eye tracking methodology: Theory and practice* (drugie wydanie z 2007 roku). I to do tej pracy odsyłam czytelników pragnących wnikliwie przestudiować zagadnienia związane z pomiarem ruchu gałki ocznej.

Pracując nad artykułem, nie zamierzałem stawiać się w roli eksperta, lecz kartografa zainteresowanego wykorzystaniem tej techniki. Dlatego w artykule poruszone zostaną tylko wybrane zagadnienia. Przy ich wyborze postawiłem sobie za cel dwa zadania. Pierwszym i zarazem głównym jest przybliżenie polskim czytelnikom techniki *eye-tracking* jako rozwiązania możliwego do wykorzystania w kartografii, zwłaszcza w badaniach użytkowania map. W Polsce zagadnienie to jest wciąż tematem nietkniętym. Nie powstała u nas dotychczas praca z zakresu kartografii, albo prezentująca badania wykorzystujące technikę *eye-tracking*, albo poświęcona jej bezpośrednio. Pomimo bogatej literatury zagranicznej, temat ten nie doczekał się krajowej publikacji, przybliżającej choć w zarysie jej założenia i specyfikę.

Drugim zadaniem jest przyjrzenie się technice *eye-tracking* przez pryzmat możliwości jej wykorzystania w kartografii, a tym samym ugruntowania naukowych podstaw kartografii jako nauki.

Należy jeszcze dodać, że w artykule *eye-tracking* celowo i konsekwentnie określamy jest mianem techniki, a nie metody badawczej. L.A. Gruszczynski (1999) w swojej książce o kwestionariuszach w socjologii używa sformułowania „technika zdobywania materiałów empirycznych”. Myślę, że sformułowanie to bardzo trafnie oddaje sens stosowania okulografii. Z całą pewnością *eye-tracking* możemy uznać za technikę umożliwiającą pozyskanie materiałów empirycznych. Użycie słowa „metoda badawcza” mogłoby budzić wątpliwości, zważywszy, że technika *eye-tracking* nie narzuca określonej ścieżki metodycznej i może być wykorzystywana w kontekście różnych metod, podejść i strategii badawczych.

## 2. Dlaczego stosujemy technikę *eye-tracking*?

Czemu właściwie ma służyć odtworzenie ścieżki utworzonej przez punkty, na które kierowaliśmy wzrok? Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy zacząć od kilku podstawowych informacji z zakresu psychofizjologii.

Kiedy kierujemy wzrok na jakiś element graficzny, przedmiot lub obiekt, jego obraz pada na tzw. dołek środkowy oka. Ten znajdujący się na siatkówce obszar z jednej strony cechuje się największym zagęszczeniem fotoreceptorów (zwłaszcza czopków) zapewniającym wyjątkowo ostre widzenie (tzw. widzenie centralne), z drugiej obejmuje jedynie 1 stopień kąta widzenia (P. Jaśkowski 2004). Taka jest bowiem jego średnica (autorzy podają różne wartości). Obraz znajdujący się poza dołkiem środkowym widziany jest już znacznie gorzej, a widzenie to nazywa się peryferyjnym. To właśnie dzięki ruchom oczu możemy ogniskować obrazy przedmiotów, które chcemy dokładnie obejrzeć. Innymi słowy oczy ustawiamy w takiej pozycji, aby obraz interesujących nas przedmiotów, obiektów, znalazł się w obszarze siatkówki oka o wysokiej rozdzielczości obrazu czyli dołku środkowym (L. Cowen i inni 2002). Wtedy można rozróżnić największą liczbę szczegółów. Miejsca, na których skupiamy wzrok to tzw. fiksacje, natomiast ruchy oczu pozwalające na ogniskowanie obrazu przedmiotów, którym chcemy się dokładnie przyjrzeć, to tzw. sakkady (P. Jaśkowski 2004) zwane również ruchami sakkadycznymi lub skokowymi (J. Młodkowski 1998). Rzecz jasna, sakkady to nie tylko jeden rodzaj ruchów charakteryzujący ludzkie oko. Na przykład J. Młodkowski w swoim podręczniku z 1998 roku wyróżnia kilka rodzajów ruchu oczu, grupując je w dwie kategorie: makro- i mikroruchy. Zagadnienie to nie będzie jednak rozwijane, gdyż zostało omówione w wielu podręcznikach poświęconych problematyce widzenia. Do nich odsyłam zainteresowanych.

W tym miejscu należy zadać jeszcze jedno pytanie. Jeżeli wiemy, że w czasie widzenia kierujemy wzrok na te przedmioty, które mają być widziane ostro, to czy oznacza to, że myślimy o nich? Czy fiksacje mają związek z przebiegiem procesu poznawczego? Otóż według założenia określanego hipotezą „umysł – oko” (J. Nielsen, K. Pernice 2010), tak właśnie się to odbywa. W myśl owej hipotezy ludzie zwykle myślą o rze-

czach, na które patrzą. Koncentrują na nich uwagę. Skoro więc człowiek zwykle myśli o tym na co patrzy, to znając punkty, na które kieruje wzrok, możemy opisać jego proces poznawczy, zbadać mechanizm tego procesu. Możemy powiedzieć co go interesuje, przyciąga jego uwagę przy wodzeniu wzrokiem, patrzeniu na przedmiot, z jaką kolejnością patrzy na elementy złożonego obrazu, zatem także i mapy – zarówno statycznej jak i interaktywnej. A to dla kartografów jest niezwykle cenna informacja.

### 3. Sposoby pomiaru ruchu gałek ocznych

Okolo sto lat doświadczeń wykorzystania techniki *eye-tracking* w psychologii (A. Çöltekin i inni 2009; R.J.K. Jacob, K.S. Karn 2003), zaowocowało opracowaniem wielu różnych rozwiązań umożliwiających pomiar ruchu gałek ocznych. Oczywiście najprostsza i najtańsza jest uważana obserwacja ruchów oczu, jednak taki, obarczony dużym błędem sposób, daje jedynie ogólną informację na temat miejsca, na które patrzymy. Pierwszym, komu udało się zmierzyć ruch gałki ocznej za pomocą zewnętrznego urządzenia, był rzekomo francuski okulista Louis Émile Javal, który w 1879 roku zauważył, że czytanie ma charakter skokowy, a nie tak jak myślano, ciągły.

Od czasów L.É. Javala wypracowano wiele różnych technologii służących do pomiaru ruchu gałek ocznych. Wśród nich wskazać można dwa sposoby odtworzenia ścieżki wodzenia wzrokiem (A.T. Duchowski 2007; L. Young, D. Sheena 1975). W pierwszym mierzy się pozycję oczu względem głowy, natomiast w drugim odtwarza i rejestruje punkt, na który patrzy badana osoba. Obecnie bardziej popularny jest drugi sposób, wykorzystywany na przykład wówczas, gdy przedmiotem badań jest analiza elementów składowych obrazu, np. graficznego interfejsu użytkownika (GUI).

Sposoby pomiaru ruchu gałek ocznych dzielone są również na inwazyjne oraz nieinwazyjne. Jako pierwsze wypracowano te inwazyjne. W sposobach inwazyjnych stosuje się rozwiązania, w których przy śledzeniu ruchu gałek ocznych niezbędny jest mechaniczny kontakt aparatury pomiarowej z rogówką. Jeżeli chodzi o metody nieinwazyjne zwane również zdalnymi, pierwszy raz zastosowano je prawdopodobnie na początku XX wieku. W roku 1901 Amerykanie R. Dodge i T.S. Cline zaprojektowali sposób nieinwazyjny polegający na rejestrowaniu świa-

ła odbitego od rogówki (wiązka światła padała na światłoczułą płytkę) (R.J.K. Jacob, K.S. Karn 2003). To rozwiązanie umożliwiało precyzyjny pomiar, jednak jego wadą była możliwość rejestracji ruchów jedynie w poziomie; ponadto osoba badana musiała trzymać głowę nieruchomo.

Od chwili wynalezienia metod nieinwazyjnych zaproponowano wiele różnych rozwiązań i wciąż projektuje się nowe. Na przykład około 1948 roku H. Hartridge i L.C. Thompson zaprojektowali pierwszy umieszczany na głowie instrument mierzący ruch gałki ocznej (R.J.K. Jacob, K.S. Karn 2003). Co prawda od tego momentu minęło już ponad 60 lat, jednak ze względu na trudność analizy danych zgromadzonych za pomocą umieszczanego na głowie instrumentu rejestrującego ruch gałki ocznej, rozwiązanie to jest wciąż rozwijane, np. poprzez usprawnianie systemów synchronizujących i łączących: zapis wideo, informacje o położeniu żrenicy, zapis ruchów gałki ocznej oraz rejestrację dynamicznych „obszarów zainteresowania” wydzielonych w obserwowanej przestrzeni (W.J. Ryan i inni 2010).

Dla rejestracji ścieżki wodzenia wzrokiem kluczowy jest pomiar ruchów gałki ocznej. Stosuje się różne podejścia i rozwiązania technologiczne (A.T. Duchowski 2007; P. Jaśkowski 2004; L. Young, D. Sheena 1975), wśród których wskazać można cztery główne sposoby pomiaru:

a) Elektrookulografia; w tym rozwiązaniu mierzy się pozycję oczu względem głowy. Polega ono na rejestrowaniu różnicy potencjałów elektrycznych skóry wokół oczodołu. Był to najpopularniejszy sposób pomiaru w połowie lat siedemdziesiątych (L. Young, D. Sheena 1975).

b) W kolejnym sposobie na oku umieszcza się specjalne szkło kontaktowe lub pierścien. Tutaj pozycja oczu również mierzona jest względem głowy. Stosuje się różne sposoby rejestracji, z których najczęściej spotykany wykorzystuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej i wymaga założenia szkieł kontaktowych z cewkami probierczymi (*search coil*) (P. Jaśkowski 2004). Pomimo, że w tym sposobie pomiar jest najdokładniejszy, to ze względu na inwazyjność, nie jest popularny.

c) Fotookulografia i wideookulografia; to grupa rozwiązań, w których rejestruje się ruch gałek ocznych, a następnie mierzy charakterystyczne cechy poruszającego się oka, np. odbicie światła od rogówki (często w podczerwieni), zmiany kształtu żrenicy. Zaletą tych rozwiązań jest nie-

inwazyjność, jednak wadą duży nakład pracy związany z koniecznością wizualnej analizy zarejestrowanego obrazu.

d) Okulografia refleksyjna; w tym sposobie rejestruje się odbicie światła (zwykle w podczerwieni) od oka. Odbicie jest następnie w czasie rzeczywistym poddawane obróbce cyfrowej pozwalającej na określenie punktów, na które patrzy badana osoba. Jest to rozwiązanie nieinwazyjne, mimo że aparatura rejestrująca może być umieszczona na głowie osoby badanej.

Wprawdzie trzy pierwsze sposoby umożliwiają pomiar ruchu gałek ocznych, jednak ich wykorzystanie wiąże się z niedogodnościami, z których największą jest trudność w określeniu punktów, na które patrzy badana osoba (np. aby uzyskać taką informację, badana osoba w czasie pomiaru musi trzymać głowę nieruchomo). Obecnie najczęściej stosuje się okulografię refleksyjną.

#### 4. Zastosowania techniki *eye-tracking*

W publikacjach podejmowane są zarówno ogólne problemy techniczne związane z udoskonalaniem aparatury pomiarowej, jak również omawiane są prace badawcze, w których stosowany jest *eye-tracking*. Oczywiście wykorzystywany jest głównie w badaniach percepcji wzrokowej, jednak w literaturze coraz częściej podejmowane są poszukiwania nowych obszarów zastosowań. Dotycząc wielu różnych dyscyplin naukowych, zasługują one na szczególną uwagę. *Eye-tracking* pojawia się także w referatach konferencyjnych. Co więcej, organizowane są konferencje poświęcone tylko tej technice, czego przykładem jest ETRA – *Eye Tracking Research & Applications Symposium* – konferencja zorganizowana już sześć razy (<http://etra.cs.uta.fi/>), skierowana do przedstawicieli różnych dyscyplin, wykorzystujących technikę *eye-tracking*.

O rosnącym zainteresowaniu pomiarem ruchu gałek ocznych świadczy wzrastająca liczba badań bezpośrednio (jako przedmiot badań) lub pośrednio (jako narzędzie badań) jej dotyczących. W swoim przeglądzie R.J.K. Jacob oraz K.S. Karn (2003) wymieniają przykłady 21 badań z zakresu ergonomii (*usability studies*) wykorzystujących *eye-tracking*, przy czym jedynie sześć to prace sprzed 1990 roku; badanie przeprowadzone na grupie 40 pilotów samolotów wojskowych

dotyczyło zachowania wzrokowego (*visual behavior*) pilotów obserwujących instrumenty pomiarowe w kokpicie samolotu w czasie lądowania. Jednym z celów badania było poznanie różnic między zachowaniem pilotów nowicjuszy i tych mających już doświadczenie. Prace z końca „przeglądowej” listy R.J.K. Jacoba i K.S. Karna dotyczą wykorzystania techniki *eye-tracking* w badaniach obsługi interfejsów programów komputerowych. Natomiast ostatnia praca prezentuje wyniki badań zachowania kierujących samochodem, którzy jednocześnie obserwowali mapę wyświetloną na ekranie urządzenia do nawigacji samochodowej. W tym celu grupę 12 osób przebadano w specjalnie przygotowanym symulatorze.

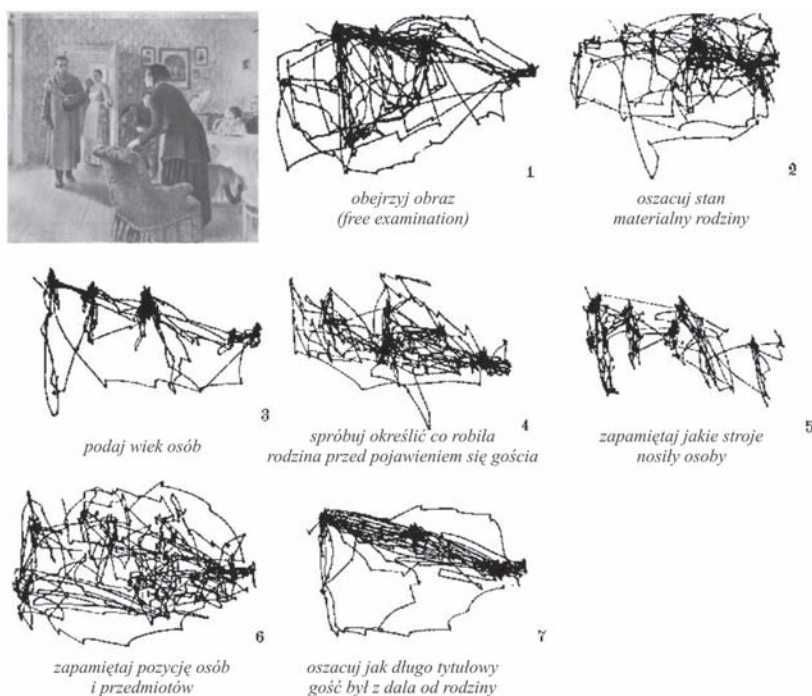
Wykonany przez R.J.K. Jacoba i K.S. Karna przegląd może świadczyć o szerokim spektrum dyscyplin i zagadnień badawczych, w których *eye-tracking* był wykorzystywany – i tu możemy dopowiedzieć – jest i zapewne będzie stosowany. Oczywiście wśród dyscyplin zainteresowanych techniką *eye-tracking* dominują badania z zakresu psychologii, medycyny (neuropsychologii), ergonomii (np. optymalizacja rozplanowania kokpitu samolotu), zwłaszcza dotyczące percepcji wzrokowej. Te pola zastosowań techniki *eye-tracking* są raczej oczywiste i chyba poza jednym badaniem, nie wymagają szerszego komentarza. Tym jednym badaniem jest studium, które przeprowadził w latach sześćdziesiątych Rosjanin A.Ł. Jarbus<sup>1</sup> (A.T. Duchowski 2007). A.Ł. Jarbus jako bodziec wykorzystał obraz „Nieoczekiwany gość” z 1884 roku pędzla Iliji Riepina, przedstawiający scenę, gdy do pokoju, w którym jest kilka osób, wchodzi mężczyzna, zapewne tytułowy „nieoczekiwany gość”. W badaniu A.Ł. Jarbus poprosił uczestników o wykonanie następujących zadań (ryc. 1): 1) przyjrzenie się obrazowi bez konkretnego celu (*free examination*); 2) oszacowanie stanu materialnego rodziny; 3) podanie wieku osób; 4) określenie co robiła rodzina przed pojawieniem się gościa; 5) zapamiętanie jakie stroje nosiły osoby; 6) zapamiętanie pozycji osób oraz przedmiotów; 7) oszacowanie jak długo tytułowy gość był z dala od rodziny. Na podstawie analizy zgromadzonego materiału A.Ł. Jarbus zaobserwował, że proces poznawczy jest ściśle zależny od celu, jaki przyświeca kierującym wzrok na obraz. Badani bowiem kie-

<sup>1</sup> W literaturze angielskojęzycznej jego prace sygnowane są nazwiskiem Jarbus.

rowali wzrok na inne fragmenty obrazu, tam gdzie spodziewali się uzyskać informację pozwalającą na udzielenie odpowiedzi na postawione pytanie. Spostrzeżenia A.Ł. Jarbusa potwierdziły późniejsze badania, a jego praca weszła do kanonu metodyki badań wykorzystujących *eye-tracking*.

Obok wspomnianych już dyscyplin ciekawy jest zakres wykorzystania techniki *eye-tracking*

kowań produktów stojących na półce sklepowej wśród innych im podobnych, sposób organizacji przestrzeni w sklepie, czy również wybór części stroju sportowca, na której najlepiej jest umieścić reklamę. Polem zastosowania techniki *eye-tracking* częściowo związanym z badaniami rynkowymi jest także funkcjonalność stron internetowych.



Ryc. 1. Na ilustracji widoczne są trzyminutowe trajektorie ruchów oczu tej samej osoby, jednak udzielającej odpowiedzi na różne pytania. Rycina pochodzi z pracy A.Ł. Jarbusa, który zauważył, że zachowanie wzrokowe jest zależne od celu, jaki przyświeca osobie wodzącej wzrokiem (źródło: Wikimedia Commons, licencja *public domain*)

Fig. 1. The illustration shows three-minute eye movement trajectories of one person answering a different question. The illustration comes from A.L. Jarbus's work, who noticed that visual behavior depends on the task the individual tries to solve (source: Wikimedia Commons, public domain).

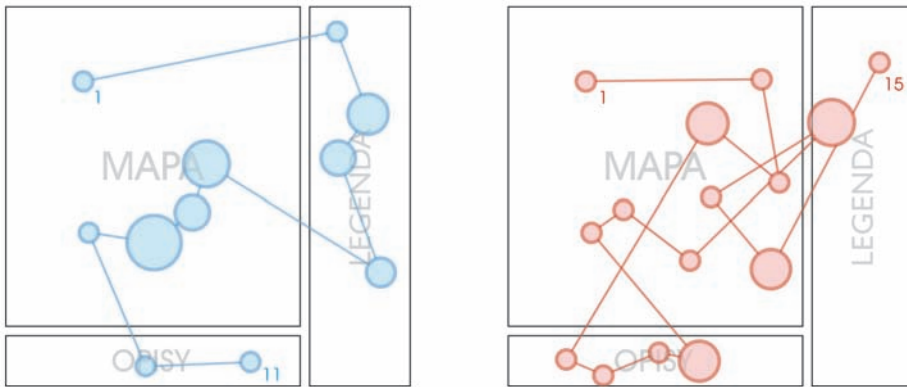
w badaniach rynkowych i konsumenckich oraz w badaniach z zakresu interakcji człowiek – komputer (HCI czyli *Human-Computer Interaction*).

Zdaniem R. Pietersa (2008) pierwsze znane badania rynkowe dotyczyły odbioru reklam zamieszczonych w czasopismach i przeprowadzono je już w 1924 roku. Obecnie *eye-tracking* stał się jedną z ważniejszych technik pozyskania danych empirycznych, wówczas gdy przedmiotem zainteresowań jest np. odróżnialność opa-

Wykorzystanie okulografii w badaniach rynkowych wymogły względy praktyczne, bowiem za właściwym zaprojektowaniem opakowania produktu czy przemyślaną szatą graficzną i układem strony internetowej stoi wzrost sprzedaży produktów, usług, większa liczba wejść na stronę internetową lub dłuższy czas przebywania na niej. To z kolei dla zarządzających stronami internetowymi może oznaczać większe przychody ze sprzedaży powierzchni reklamowej.

Korzystanie ze stron internetowych, podobnie jak obsługa graficznych interfejsów użytkownika, to tematy ujmowane często w ramy jednej klamry określanej mianem „interakcji człowiek – komputer”. Początki wykorzystania techniki *eye-tracking* w takich badaniach związane były z rozwiązaniami dla osób niepełnosprawnych, np. dotkniętych paraliżem czterokończynowym (R.J.K. Jacob, K.S. Karn 2003), dla których wielką szansą było opracowanie efektywnych

ruchów oczu możemy zdobyć informację o zachowaniu badanych, o przebiegu ich procesu poznawczego. Mówiąc inaczej, poprzez porównanie trajektorii osób „usatysfakcjonowanych” i tych nie, można spróbować wskazać czynniki, które wpłynęły na uzyskany wynik. Na przykład możemy sobie wyobrazić sytuację, w której użytkownik nisko ocenia funkcjonalność interaktywnej mapy, gdyż nie wie, że zatrzymanie wskaźnika myszy nad ikoną interaktywnego



Ryc. 2. Ideogram hipotetycznej trajektorii ruchów oczu użytkownika potrafiącego czytać mapę (niebieski) i mającego z tym problemy (czerwony). Sakkady (linie) osoby potrafiącej czytać mapę będą zdecydowane, uporządkowane (jest w nich jakaś logika), natomiast osoba nie radząca sobie z mapą jest niezdecydowana, nie wie od czego zacząć, „biega po mapie oczami” (duża liczba fiksacji – kół), nie koncentrując uwagi w jakimś konkretnym miejscu

Fig. 2. An ideogram of a hypothetical trajectory of eye movements of a person being able to read a map (blue) and a person having problems with it (red). The saccadas (lines) of someone who knows how to read a map will be sure and tidy (there is logic in them), while a person not knowing how to read a map is not sure, does not know where to start, ‘runs about the map with their eyes’ (a large number of fixations – circles), not concentrating in one place

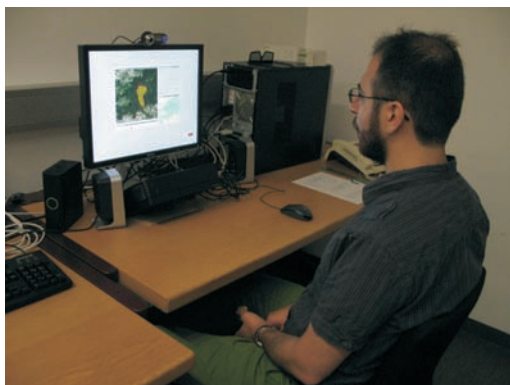
systemów umożliwiających sterowanie wzrokiem. Ze względu na swoją specyfikę *eye-tracking* jest dziś często stosowany w badaniach jakości użytkowej interfejsów, zwłaszcza w połączeniu z innymi rozwiązaniami nazywanymi w literaturze „metodami oceny użyteczności” (UEM czyli *usability evaluation methods*) (B. Heil 2009), np. kwestionariuszami użyteczności. Łączenie technik pozyskania danych empirycznych sprawia, że zgromadzone informacje umożliwiają bardziej całościowe spojrzenie na problem. Na przykład wypełniając kwestionariusz użyteczności badani mogą zasygnalizować ogólną ocenę, zadowolenie, satysfakcję z korzystania z interfejsu aplikacji komputerowej lub interaktywnej mapy. Z kolei dzięki analizie trajektorii

narzędzia skutkuje wyświetleniem etykiety z informacją o „zasadzie działania” wskazanego narzędzia. Z kolei sprawne użytkowanie wykorzystanej w badaniu interaktywnej mapy wymaga właśnie poznania narzędzi widocznych na jej interfejsie.

Możliwości wykorzystania okulografii w HCI dobrze podsumował B. Heil (2009). Według niego technika ta daje możliwość głębszego wejrzenia w przebieg procesu poznawczego, umożliwia szczegółową analizę elementów ocenianego systemu oraz – co ważne, daje konkretne liczby, które potem można wykorzystać do analiz. Jako wady z kolei autor wymienia zakłócanie prywatności badanej osoby, dużą ilość danych i związaną z nią czasochłonną analizę oraz wysoki koszt aparatury.

## 5. Eye-tracking jako narzędzie badawcze kartografów

Sposób wnioskowania jest prosty. W czasie czytania mapy wodzimy po niej wzrokiem, gdyż nie wszystkie szczegóły jesteśmy w stanie wychwycić jednym „rzutem oka”. Wynika to z ogólnych cech percepcji wzrokowej (A.T. Duchowski 2007) oraz warunkowane jest też częściowo przez poziomy czytania mapy (S. Bonin 1989). Najbardziej efektywnie analizowana jest



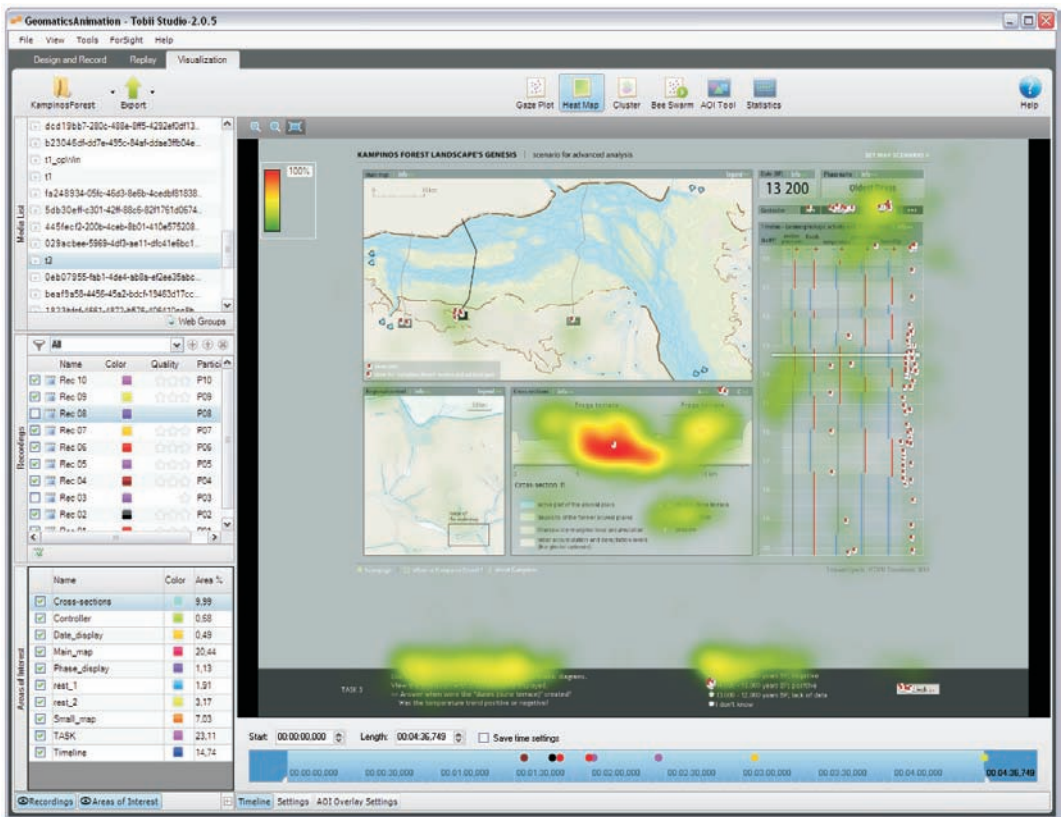
Ryc. 3. Współczesne urządzenia umożliwiające pomiar ruchów gałki ocznej są często niepozorne i łatwe w obsłudze. Zwykle jest to podłączony do komputera zestaw kamer zamkniętych w jednej obudowie. Na fotografii jeden z uczestników badania przeprowadzonego przez autora w Instytucie Geograficznym Uniwersytetu w Zurichu w maju 2011

Fig. 3. Contemporary eye movement recording devices are often unobtrusive and easy to use. Usually they consist of a set of cameras in a single case. The photo shows a participant of research conducted by the author at the University of Zurich in May 2011

ta część mapy, na której koncentrujemy uwagę, czyli której obraz znajduje się w dołku środkowym siatkówki oka. Obraz ten z kolei zmienia się wraz z sakkadycznymi ruchami oczu, wówczas gdy skupiamy uwagę na innych częściach mapy. Te ruchy wynikają ze wzrokowego wyszukiwania i analizy informacji niezbędnych do rozwiązania zadania, udzielenia odpowiedzi, poznania treści mapy. Jeżeli zatem uda się nam prześledzić i zarejestrować ścieżkę utworzoną przez punkty, na które kierowaliśmy wzrok, uda nam się uzyskać wiele cennych informacji doty-

czących procesu poznawczego: co przykuwa uwagę czytającego mapę na początku, w jakiej kolejności czytający mapę ogląda elementy jej treści, itd. Znając trajektorie ruchów oczu można również uzyskać inne charakterystyki (miary), np. czy ścieżka patrzenia jest płynna i zdecydowana czy może „rozbiegana”. Nie trzeba być specjalistą żeby zaryzykować stwierdzenie, że jeżeli mamy do czynienia z „rozbieganą” ścieżką wodzenia wzrokiem, to użytkownik w czasie czytania mapy nie czuje się pewnie, nie wie od czego zacząć, co jest ważne a co nie, na co kierować wzrok i w jakiej kolejności (ryc. 2). O prawdziwości takiej tezy świadczyć może jej częściowa zbieżność z poglądami autorów wykorzystujących *eye-tracking* w badaniach z zakresu HCI (np. J.H. Goldberg, X.P. Kotval 1999), według których długie sakkady mogą sygnalizować poprawnie zaprojektowany interfejs, którego układ odpowiada użytkownikowi, w które miejsca powinien kierować wzrok. Dlatego użytkownik działa pewnie, ruchami zdecydowanymi kieruje wzrok na obszary dla niego ważne. To jak użytkownik czyta mapę, czy potrafi ją zinterpretować, skorzystać z legendy i interaktywnych narzędzi, jest informacją kluczową dla osoby redagującej mapę. Dlatego *eye-tracking* jest dla kartografów tak atrakcyjną techniką badawczą.

Wprawdzie technika *eye-tracking* wciąż wiąże się z koniecznością korzystania z kosztownej aparatury i oprogramowania, stała się jednak bardziej osiągalna dla kartografów (ryc. 3). Wpłynęła na to m.in. większa dostępność sprzętu, możliwości szybkiego opanowania jego obsługi, chociażby dlatego, że załączone do sprzętu programy komputerowe cechują się zwykle intuicyjnym interfejsem użytkownika oraz udostępniają szeroki wachlarz narzędzi do obróbki i analizy danych (ryc. 4). Oczywiście nie zawsze oprogramowanie udostępnia oczekiwaną przez kartografa funkcjonalność. Dobrym przykładem jest problem wskazany przez X. Li i innych (2010), którym jest brak interaktywnych narzędzi analitycznych umożliwiających wizualną eksplorację danych o trajektoriach wodzenia wzrokiem, wówczas gdy bodźcem jest animacja kartograficzna. Zdaniem autorów częściowym rozwiązaniem tego problemu jest wzbogacenie aplikacji o tzw. sześcian przestrzenno-czasowy (*space-time-cube*), umożliwiający wizualną eksplorację trajektorii wodzenia wzrokiem za pomocą wizualizacji trójwymiarowych. W takiej wizualizacji



Ryc. 4. Graficzny interfejs użytkownika programu Tobii Studio – jednej z popularniejszych aplikacji umożliwiających obsługę aparatury rejestrującej pomiar ruchu gałek ocznych oraz obróbkę i analizę zgromadzonych danych. Interfejs, wprawdzie złożony, jest łatwy do opanowania. Dostępne funkcje są łatwe do zidentyfikowania nawet dla tych, którzy po raz pierwszy mają styczność z tym narzędziem

Fig. 4. Graphical User Interface of Tobii Studio – one of the most popular applications making it possible to record eye movements as well as processing and analysis of acquired data. Although the interface is complex, it is easy to learn. The functions available are easy to identify even for those who are using the tool for the first time

trajektorie wyświetlane są w postaci linii, których wysokość jest w funkcji czasu (ryc. 5). Taka prezentacja umożliwia wgląd w dane i w przeciwieństwie do trakcyjnych wizualizacji (np. *gaze plot* czyli łącznej prezentacji wszystkich fiksacji i sakkad) nie wiąże się z graficznym nakładaniem fiksacji i sakkad. Oczywiście przy takim podejściu zmieniać można obraz bodźca; tym samym osoba analizująca dane może porównywać fiksacje i sakkady z właściwym kadrem animacji.

Wyzwaniem w dalszym ciągu pozostaje umiejętność „wciąganie” techniki *eye-tracking* do proce-

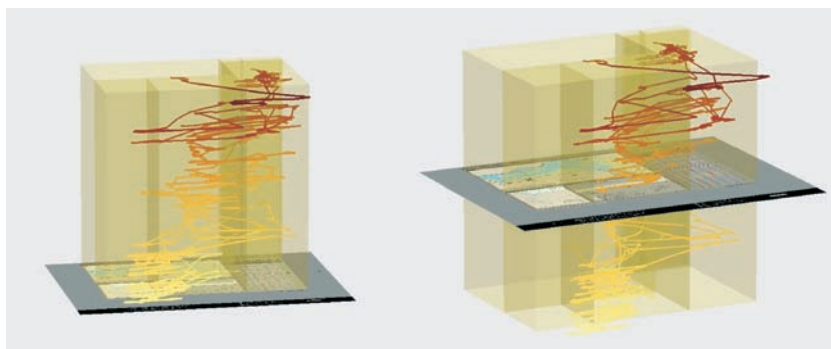
dury badawczej, zaprojektowanie przemyślanej ścieżki metodycznej na czele z umiejętnym sformułowaniem problemu badawczego. Za merytoryczne przewinięcie można bowiem uznać wykorzystanie techniki *eye-tracking* w badaniach, w których – mówiąc obrazowo – staramy się udzielić odpowiedzi na pytanie, na które *eye-tracking* odpowiedzi nie da.

Chcąc prześledzić historię wykorzystania techniki *eye-tracking* w kartografii należy zacząć od lat siedemdziesiątych. To wtedy pojawiły się próby wykorzystania tej techniki w badaniach z zakresu kartografii (T.R. Steinke 1987; H.W. Castner,



J.R. Eastman 1984). Przedmiotem rozważań były wówczas mapy papierowe, a celem – zwykle poprawa ich formy graficznej tak, aby były łatwiej dostępne dla potencjalnego odbiorcy (D.R. Montello 2002).

M.W. Dobson porównał sposób czytania dwóch map różniących się tym, że tylko na pierwszej podano nazwy jednostek administracyjnych (na mapie były ponumerowane, a opisane pod nią). Przed badaniem M.W. Dobson założył, że użyt-



Ryc. 5. Rozwiązaniem ułatwiającym wizualną eksplorację danych o zachowaniu wzrokowym jest interaktywna prezentacja 3D, w której wysokość trajektorii jest w funkcji czasu. Innym udogodnieniem jest możliwość wyświetlenia właściwego kadru animacji kartograficznej. Na ilustracji wykonana przez autora próba wizualizacji danych za pomocą aplikacji ArcGIS ArcScene

Fig. 5. The 3D presentation is a solution facilitating visual exploration of data on visual behavior. In it the altitude of trajectory is in the function of time. Another convenience is the possibility of displaying a needed adequate frame of cartographic animation. The illustration presents an attempt by the author at visualizing data through the ArcGIS ArcScene application

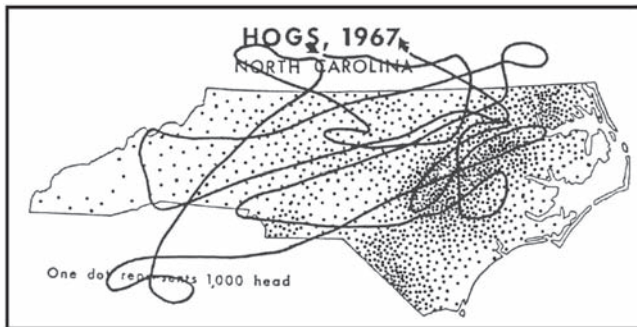
Jednym z pionierów wykorzystania okulografii w kartografii był G.F. Jenks (1973), specjalizujący się w kartograficznych metodach prezentacji oraz badaniach użytkowania map i generalizacji automatowej. W jednym ze swoich badań poprosił studentów o obwiedzenie na mapie Karoliny Północnej obszarów oznaczających regiony o podobnym pogłowie tuczniaków. Należy przy tym dodać, że pogłowie tuczniaków na mapie zaprezentowano metodą kropkową. W badaniu G.F. Jenks wykorzystał *eye-tracking* w celu uzyskania informacji o sposobie, w jaki respondenci „czytali” mapę. Takie podejście miało umożliwić weryfikację wpływu ścieżki wodzenia wzrokiem po mapie na różnice w wydzieleniu wspomnianych regionów (ryc. 6).

Ostatecznie, wykorzystany przez G.F. Jenksa *eye-tracking* nie pozwolił na udzielenie jednoznacznej odpowiedzi. Dał jednak inspirację innym, którzy podobnie jak G.F. Jenks w swoich badaniach mapę potraktowali jako bodziec. Dobrym przykładem jest praca M.W. Dobsona, jednego z uczniów G.F. Jenksa, z 1977 roku.

kownicy pierwszej mapy będą starali się rozszyfrować znaczenie numerów, zaś drugiej skoncentrują się na analizie treści mapy. Jak wykazało badanie, nie było znaczących różnic w zachowaniu wzrokowym osób użytkujących różne mapy. Użytkownicy zarówno jednej jak i drugiej mapy starali się po prostu przeanalizować ich treść.

W tamtym okresie opublikowano jeszcze inne prace dotyczące wykorzystania okulografii w kartografii. W 1980 roku ukazała się obszerna publikacja E. Vanecka poświęcona czytelności zgeometryzowanych sygnatur punktowych. W swoich badaniach, w celu weryfikacji rozważań teoretycznych E. Vanecek zastosował elektrookulografię. H.W. Castner i J.R. Eastman w dwuczęściowym artykule (1984, 1985) przyjrzeni się natomiast wykorzystaniu techniki *eye-tracking* w badaniach zależności między percepcyjną złożonością mapy (*perceived complexity*) a przebiegiem procesu poznawczego. Z kolei zespół pod kierunkiem K.T. Changą opublikował pracę (1985), w której opisano badanie dotyczące czytania mapy topograficznej (odczyt wysokości

bezwzględnych i względnych) przez użytkowników doświadczonych i amatorów. Okazało się, że osoby wprawione potrzebują mniej czasu na przemyślenie poszczególnych elementów treści (krótsze czasy fiksacji) oraz że ich zachowanie wzrokowe cechuje się dużą liczebnością fiksacji (częstsze kierowanie wzroku) w miejscach, gdzie na mapie podano informacje o wysokościach bezwzględnych. Wyniki zespołu K.T. Changa acz ciekawe, trudno uznać za odkrywcze albo znacząco wpływające na stan wiedzy na temat użytkowania map. Jest to zapewne dobry komentarz do większości publikacji z początków wykorzystania techniki *eye-tracking* w kartografii.



Ryc. 6. Pochodzący z publikacji G.F. Jenksa (1973) przykład ilustrujący trasę, jaką przemierzył wzrok jednej z badanych osób w czasie czytania mapy

Fig. 6. An example illustrating the eye route of someone reading a map from G.F. Jenks's publication (1973)

Co ciekawe, po wroście zainteresowania kartografów techniką *eye-tracking* w latach siedemdziesiątych i na początku lat osiemdziesiątych, prace badawcze wykorzystujące to podejście stały się rzadkie. Jako przyczyny podawane są różne czynniki (S.I. Fabrikant i inni 2008; L. Brodersen i inni 2002; D.R. Montello 2002), wśród których istotny wydaje się sceptycyzm wynikający z założenia, że rezultaty badań z wykorzystaniem techniki *eye-tracking* nie odbiegają znacząco od tego o czym wiadomo, a tym samym poniesiony nakład pracy i koszty są niewspółmierne do uzyskanych wyników.

Wraz z początkiem nowego tysiąclecia dał się jednak zauważyć szybki wzrost liczby publikacji. Sporo ich przyniosła miniona dekada. Lektura prac opublikowanych w ostatnim dziesięcioleciu (tab. 1) prowadzi do spostrzeżenia, że *eye-tracking*

wykorzystywany jest w kontekście różnych zagadnień badawczych kartografii. Zdarza się, że w jednym opracowaniu przeplatają się różne wątki i podejścia. W tabeli 1 zasygnalizowano cele i problemy badawcze podjęte w pracach, lecz tylko te najmocniej zaakcentowane. Rzecz jasna, większość prac jest wielopłaszczyznowa, zatem w każdej z nich można wskazać problemy badawcze, które autorzy rozważali na drugim planie bądź „między wierszami”.

Zarówno w przypadku map statycznych jak i interaktywnych, ogólnym celem badań z wykorzystaniem okulografii jest zwykle pogłębienie wiedzy na temat sposobu, w jaki mapy są użytkowane. Jeżeli chodzi o podejmowane tematy, wciąż aktualny jest problem percepcji map statycznych (np. L. Brodersen i inni 2002). Chodzi tu zarówno o opracowania klasyczne, jakimi są np. mapy topograficzne, jak również o mniej popularne rozwiązania, jak na przykład rozpropagowane przez E.R. Tufte (1983) tzw. *small-multiple displays*, czyli plansze składające się z map w małej skali, ilustrujących różne stany czasowe. Właśnie taką planszę jako bodziec w swoim badaniu wykorzystał zespół pod kierunkiem S.I. Fabrikant (2008), którego celem było przedstawienie nowego podejścia do oceny efektywności wizualizacji kartograficznych – tzw. *przystępności wnioskowania (inference affordance)*, charakteryzującej za-

równy informacyjność prezentacji jak i zakres jej interaktywności. Warty odnotowania spostrzeżeniem był również komentarz, że złożone wizualizacje (*small-multiple displays*) nie są informacyjnie równoważne względem nie-interaktywnych animacji o analogicznej treści.

Innym wątkiem podjętym w pracy S.I. Fabrikant (2008) była próba wskazania typowych zachowań w czasie analizy wzrokowej czyli określenia typowych trajektorii wodzenia wzrokiem po mapie. W tym celu w czasie analizy zgromadzonych danych zastosowano oprogramowanie ClustalG, wykorzystywane do sekwencjonowania DNA. Problematyka prawidłowości w czasie analizy wzrokowej to temat pojawiający się także w innych pracach. Przykładem może być publikacja A. Çöltekin i współautorów (2010) o badaniu zachowania w czasie użytkowania

Tab.1. Zestawienie 10 prac z zakresu kartografii i nauki o informacji przestrzennej (GI Science) wykorzystujących technikę *eye-tracking*, zrealizowanych po 2000 roku (litera n oznacza liczbę badanych osób)

Autorzy, rok publikacji	Cel lub problem badawczy	Bodziec – mapa testowa	n	Podejście metodyczne
L. Brodersen, H. H. K. Andersen, S. Weber, 2002	ocena nowej, złożonej metody badania użytkownika map topograficznych	papierowa mapa topograficzna	10	zadania użytkownika oraz śledzenie ruchu głowy, protokół „myśl głośno”, wywiad, analiza zapisu wideo
O. Hermans, J. Laarni, 2003	różnice między użytkownikami z doświadczeniem i bez doświadczenia w zakresie umiejętności wyszukiwania informacji na mapie	mapa przeglądowa wyświetlona na ekranie	8	zadania użytkownika
S. I. Fabrikant, S. Rebich-Hespanha, N. Andrienko, G. Andrienko, D.R. Montello, 2008	nowa metoda oceny przydatności wnioskowania ( <i>inference affordance</i> ) w czasie użytkownika złożonych map statycznych	plansza złożona z dwunastu map prezentujących stan w różnych miesiącach	34	zadania użytkownika
A. Çöltekin, B. Heil, S. Garlandini, S. I. Fabrikant, 2009	ocena użyteczności dwóch map interaktywnych o równoważnej informacyjności jednak różniących się grafiką i układem interfejsu	dwie interaktywne mapy o podobnej treści	30	zadania użytkownika oraz ocena funkcjonalności systemu
S. Garlandini, S.I. Fabrikant, 2009	ocena przydatności czterech zmiennych graficznych J. Bertina do wizualizacji danych przestrzennych	32 „migoczące” mapy (składające się z par zmieniających się na przemian map)	20	zadania użytkownika oraz modele dominant wizualnych
B. Heil, 2009	ocena funkcjonalności graficznych interfejsów użytkownika złożonych aplikacji kartograficznych	prototypy trzech interfejsów użytkownika	21	zadania użytkownika, kwestionariusz, ocena funkcjonalności systemu
A. Çöltekin, S. I. Fabrikant, M. Lacayo, 2010	próba określenia typowych zachowań wzrokowych w czasie użytkownika interaktywnych aplikacji kartograficznych	dwie interaktywne mapy o podobnej treści	20	zadania użytkownika
S. I. Fabrikant, S. Rebich-Hespanha, M. Hegarty, 2010	czy wizualne wyeksponowanie elementów mapy ważnych z punktu widzenia jej treści wpływa na poprawną interpretację mapy	dwie równoważne informacyjnie statyczne mapy pogody różniące się formą graficzną	30	zadania użytkownika oraz modele dominant wizualnych
X. Li, A. Çöltekin, M.-J. Kraak, 2010	wykorzystanie sześcianu czasowo-przestrzennego do wzrokowej analizy danych uzyskanych po wykorzystaniu techniki <i>eye-tracking</i>	złożona wizualizacja składająca się z mapy oraz wykresów	–	zadania użytkownika
K. Oomsa, P. De Maeyera, V. Fackb, 2010	wskazanie prawidłowości w zachowaniu wzrokowym w czasie wyszukiwania informacji na mapie	20 schematycznych map przeglądowych	14	zadania użytkownika

dwóch równoważnych informacyjnie map interaktywnych. Podobnej problematyki dotyczyła też praca K. Oomsa i innych (2010), w której przedmiotem rozważań było zachowanie w czasie wzrokowego wyszukiwania informacji na mapie. Ciekawym podejściem związanym z zachowaniem użytkowników są badania, których celem jest wskazanie różnic w zachowaniu wzrokowym osób wprawionych w użytkowaniu map, oraz tych nie mających doświadczenia (np. O. Hermans, J. Laami 2003).

Kierując się myśleniem pragmatycznym, stosując dość kosztowny *eye-tracking* chcielibyśmy uzyskać efekty, które można przenieść do praktyki kartograficznej. Owszem, można wskazać badania, w których podjęto istotne z praktycznego punktu widzenia zagadnienia – np. poruszony w pracy S. Garlandini i S.I. Fabrikant (2009) wpływ właściwego doboru zmiennych graficznych J. Bertina (1967) na percepcję map. Trudno jednak jednoznacznie stwierdzić, czy rezultaty takich badań można wykorzystać w praktyce redakcyjnej lub że odkrywają fakty wcześniej nieznanne. Co jest natomiast pewne, wykorzystanie techniki *eye-tracking* w badaniach może rzucić nowe światło, nowe spojrzenie na obiegowe opinie, a tym samym dać mocne naukowe podstawy argumentacji bądź ugruntować wiedzę.

Bez wątplenia cechą wspólną wszystkich prac wykorzystujących *eye-tracking* jest ukryta wartość dodana. Niezależnie bowiem od celów i problemów badawczych wskazywanych przez autorów oraz rzetelności metodycznej, prace takie przybliżają nas zawsze o krok ku poznaniu mechanizmów procesów poznawczych towarzyszących czytaniu, użytkowaniu map. Dlatego nie będzie przesadą stwierdzenie, że prace takie zawsze wnoszą coś nowego. Dla osób redagujących mapy, wiedza na temat zachowania użytkowników w czasie wzrokowej analizy mapy, przy wyszukiwaniu informacji, jest wiedzą istotną. Osoba redagująca mapy powinna bowiem cechować się umiejętnością rozumienia zachowania osób je użytkujących, czyli powinna cechować się specyficzną „odmianą” empatii poznawczej. Dlatego *eye-tracking* jest tak ważnym narzędziem, dostarczającym cennego materiału empirycznego. Jest rozwiązaniem umożliwiającym wskazanie cech analizy wizualnej, które należy uwzględnić przy projektowaniu graficznym map i projektowaniu ich funkcjonalności. Jak już wcześniej wspomniano, dyscypliną szczególnie zainteresowaną wykorzystaniem techniki

*eye-tracking* są badania z zakresu HCI. Dlatego w kartografii okulografia może znaleźć szczególne zastosowanie w badaniach dotyczących map interaktywnych, ich walorów użytkowych, rozplanowania interfejsu (np. A. Çöltekin i inni 2009; B. Heil 2009). Zdarza się, że celem badań jest porównywanie opracowań kartograficznych o podobnej treści, funkcjonalności, jednak o odmiennej formie graficznej, rozmieszczeniu interaktywnych elementów interfejsu (np. S.I. Fabrikant i inni 2010; A. Çöltekin i inni 2009; B. Heil 2009). Na przykład B. Heil (2009) porównał trzy wersje interfejsu systemu informacji o zagrożeniach naturalnych (*Natural Hazard Information System*), natomiast A. Çöltekin i inni (2009) porównali dwa „równoważne informacyjnie” internetowe opracowania interaktywne – komercyjny *National Atlas of the U.S.A.*<sup>2</sup> oraz opracowaną przez amatorów aplikację kartograficzną opublikowaną na stronie Carto.net<sup>3</sup>. Należy dodać, że porównanie wymienionych opracowań o zupełnie odmiennej proveniencji może budzić wątpliwości, chociażby ze względu na dużo szerszy zakres treści atlasu i wiążącą się z tym konieczność innego podejścia do układu elementów graficznego interfejsu użytkownika. Tym samym kwestionować można równoważność informacyjną tych opracowań. Niezależnie od wątpliwości, praca A. Çöltekin i innych (2009) zasługuje na uwagę ze względu na zastosowane podejście, w którym *eye-tracking* połączono z oceną funkcjonalności interaktywnych opracowań kartograficznych. Co ciekawe, łączenie okulografii z innymi technikami pozyskania danych empirycznych lub wplatanie jej w bardziej złożony wywód naukowy, jest coraz częstsze. Wynika to zapewne ze stopniowego upowszechniania tej techniki. Owszem, *eye-tracking* jest wciąż rozwiązaniem oryginalnym, dającym empiryczne podstawy naukowym rozważaniom kartograficznym, coraz rzadziej jest jednak „głównym bohaterem”. Jest łączony z innymi rozwiązaniami, co jest jakoby odpowiedzią na krytykę, że wskazanie miejsc, na które użytkownik kierował wzrok to za mało, żeby poznać prawa rządzące procesami poznawczymi, ich mechanizmami, wówczas gdy bodźcem jest mapa. Model dominant wizualnych (*saliency model*) (S.I. Fabrikant i inni 2010), analiza sekwencji (S.I. Fabrikant i inni

<sup>2</sup> <http://nationalatlas.gov/mapmaker>

<sup>3</sup> [http://www.carto.net/papers/svg/us\\_crime\\_2000/](http://www.carto.net/papers/svg/us_crime_2000/)

2008), kwestionariusz oceny funkcjonalności (A. Çöltekin i inni 2009) to tylko przykłady rozwiązań towarzyszących technice *eye-tracking* w badaniach kartograficznych.

Nie można wreszcie pozostawić bez komentarza dorobku, jaki do wykorzystania techniki *eye-tracking* w kartografii i wizualizacji danych przestrzennych wnieśli geografowie z Instytutu Geograficznego Uniwersytetu w Zurichu. Jest to obecnie najbardziej aktywny ośrodek wykorzystujący *eye-tracking* w badaniach z zakresu percepcji map. W projektach pod kierunkiem S.I. Fabrikant stosowane jest zarówno podejście klasyczne (zwykle przy realizacji prac magisterskich), jak również *eye-tracking* łączony jest w innymi metodami.

## 6. Podsumowanie

Chcąc ocenić znaczenie badań z wykorzystaniem techniki *eye-tracking* dla rozwoju kartografii – bądź szerzej, nauki o informacji przestrzennej, trafnym określeniem będzie sformułowanie „uporządkowanie wiedzy”. Z całą pewnością *eye-tracking* wiedzę porządkuje, weryfikuje, ugruntowuje. To czego kiedyś mogliśmy się jedynie domyślać (zwłaszcza wtedy gdy interesowało nas zachowanie w czasie analizy wzrokowej mapy), dzięki wykorzystaniu okulografii możemy sprawdzić.

Pozornie trudna do opanowania technika *eye-tracking* jest wygodnym i przede wszystkim dogodnym narzędziem badawczym. Uzupełnia wachlarz technik stosowanych przez kartografów, pragnących poznać zachowanie użytkow-

ników map, zwłaszcza zachowanie wzrokowe (*visual behavior*) (A. Çöltekin i inni 2009), będące odzwierciedleniem koncentracji umysłowej.

Należy pamiętać, że badania użytkownika map bazujące na wykorzystaniu techniki *eye-tracking* mogą dotyczyć tylko części problemów badawczych, np. obejmujących takie zagadnienia jak widoczność elementów interfejsu interaktywnej mapy, efektywność ich rozmieszczenia oraz łatwość identyfikacji przeznaczenia. Jak napisali J.H. Goldberg i X.P. Kotval (1999), *eye-tracking* nie jest panaceum na ocenę formy graficznej i rozplanowania elementów interfejsu interaktywnych aplikacji, w tym różnych map interaktywnych. Jednak wiedza o zachowaniu wzrokowym użytkowników może być skutecznie wykorzystana, gdyż technika *eye-tracking* daje konkretne miary, liczby, które można wykorzystać chociażby do porównania różnych opracowań kartograficznych.

Pomimo postępu, jaki dokonał się w technice *eye-tracking* i wiążącego się z nim otwarcia na wykorzystanie w kartografii, wiele zagadnień wciąż wymaga badań. Przede wszystkim problemem nierozwiązanym pozostaje wciąż konieczność czaso- i pracochłonnej obróbki danych (A. Çöltekin i inni 2009). Innym ważnym problemem jest trudność interpretacji informacji o zachowaniu w czasie analizy wzrokowej map. Dzięki zastosowaniu okulografii potrafimy powiedzieć, na które obszary mapy użytkownicy patrzą, lecz wciąż duże trudności przynosi każda próba wskazania czynników, warunkujących to zachowanie.

## Literatura

- Bertin J., 1967, *Sémiologie graphique: Les diagrammes – les réseaux – les cartes*. Paris: Mouton.
- Bojko A., 2006, *Using eye tracking to compare web page designs: a case study*. „Journal of Usability Studies” Vol. 1, no. 3, s. 112–120.
- Bonin S., 1989, *Poziomy czytania mapy*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 21, nr 2, s. 49–62.
- Brodersen L., Andersen H.H.K., Weber S., 2002, *Applying eye-movement tracking for the study of map perception and map design*. Copenhagen: The National Survey and Cadastre of Denmark.
- Castner H.W., Eastman J.R., 1984, *Eye-movement parameters and perceived map complexity – I*. „The American Cartographer” Vol. 11, no. 2, s. 107–117.
- Castner H.W., Eastman J.R., 1985, *Eye-movement parameters and perceived map complexity – II*. „The American Cartographer” Vol. 12, no. 1, s. 29–40.
- Chang K.-T., Antes J., Lenzen T., 1985, *The effect of experience on reading topographic relief information: Analyses of performance and eye movements*. „The Cartographic Journal” Vol. 22, no. 2, s. 88–94.
- Cowen L., Ball L.J., Delin J., 2002, *An eye-movement analysis of web-page usability*. „Proceedings, HCI Conference, 2002, London”, s. 317–335.
- Çöltekin A., Fabrikant S.I., Lacayo M., 2010, *Exploring the efficiency of users' visual analytics strategies based on sequence analysis of eye movement recordings*. „Intern. Journal of Geographical Information Science” Vol. 24, no. 10, s. 1559–1575.
- Çöltekin A., Heil B., Garlandini S., Fabrikant S.I., 2009, *Evaluating the effectiveness of interactive map interface designs: a case study integrating usability metrics with eye-movement analysis*. „Cartography

- and Geographic Information Science" Vol. 36, no. 1, s. 5–17.
- Dobson M.W., 1977, *Eye movement parameters and map reading*. „The American Cartographer” Vol. 4, no. 1, s. 39–58.
- Duchowski A.T., 2007, *Eye tracking methodology: Theory and practice*. Second Edition. London: Springer-Verlag.
- Fabrikant S.I., Rebich-Hespanha S., Andrienko N., Andrienko G., Montello D.R., 2008. *Novel method to measure inference affordance in static small multiple displays representing dynamic processes*. „The Cartographic Journal” Vol. 45, no. 3, s. 201–215.
- Fabrikant S.I., Rebich-Hespanha S., Hegarty M., 2010, *Cognitively inspired and perceptually salient graphic displays for efficient spatial inference making*. „Annals of the Association of American Geographers” Vol. 100, no. 1, s. 13–29.
- Garlandini S., Fabrikant S.I., 2009, *Evaluating the effectiveness and efficiency of visual variables for geographic information visualization*. „Lecture Notes of Computer Sciences” Vol. 5756, s. 195–211.
- Goldberg J.H., Kotval X.P., 1999, *Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs*. „Intern. Journal of Industrial Ergonomics” Vol. 24, no. 6, s. 631–645.
- Gruszczyński L.A., 1999, *Kwestionariusze w socjologii. Budowa narzędzi do badań surveyowych*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Heil B., 2009, *Design and evaluation of geographic information interfaces. A case study of a natural hazard information system*. Praca magisterska. Uniwersytet w Zurichu.
- Hermans O., Laarni J., 2003, *Searching information from screen maps*. „ScanGIS'2003 – Proceedings of the 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 4–6 June 2003, Espoo, Finland”.
- Jacob R.J.K., Karn K.S., 2003, *Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises*. W: „The Mind's Eye. Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research”, red. J. Hyönä, R. Radach, H. Deubel. Amsterdam: Elsevier Science, s. 573–606.
- Jaśkowski P., 2004, *Zarys psychofizjologii*. Warszawa: Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania.
- Jenks G.F., 1973, *Visual integration in thematic mapping: Fact or fiction?* „Intern. Yearbook of Cartography” Vol. 13, s. 27–35.
- Li X., Çöltekin A., Kraak M.-J., 2010, *Visual exploration of eye movement data using the space-time cube*. „Lecture Notes of Computer Sciences” Vol. 6292, s. 295–309.
- Marasek K., 2006, *Interfejs użytkownika. Kansei w praktyce*. Warszawa: Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych.
- Młodkowski J., 1998, *Aktywność wizualna człowieka*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Montello D.R., 2002, *Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches*. „Cartography and Geographic Information Science” Vol. 29, no. 3, s. 283–304.
- Nielsen J., Pernice K., 2010, *Eyetracking web usability*. Berkeley: New Riders.
- Oomsa K., De Maeyera P., Fackb V., 2010, *Analysing eye movement patterns to improve map design*. W: „Proceedings, AutoCarto Orlando 2010”.
- Pieters R., 2008, *A review of eye-tracing research in marketing*. W: „Review of Marketing Research. Volume 4”, red. Naresh K. Malhotra, Armonk: Emerald Group Publishing Limited, s. 123–147.
- Poole A., Ball L.J., 2005, *Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Current status and future prospects*. W: „Encyclopedia of human-computer interaction”, red. C. Ghaoui. Pennsylvania: Idea Group, Inc.
- Rayner K., 1998, *Eye movements in reading and information processing: 20 years of research*. „Psychological Bulletin” Vol. 124, no. 3, s. 372–422.
- Ryan W.J., Duchowski A.T., Vincent E. A., Battisto D., 2010, *Match-moving for area-based analysis of eye movements in natural tasks*. „Proceedings, Eye Tracking Research & Applications Symposium, 2010, Austin, USA”, s. 235–242.
- Shaughnessy J.J., Zechmeister E.B., Zechmeister J.S., 2002, *Metody badawcze w psychologii*. Gdańsk: Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- Steinke T.R., 1987, *Eye movement studies in cartography and related fields*. „Cartographica” Vol. 24, no. 2, s. 40–73.
- Tufte E.R., 1983, *The visual display of quantitative information*. Cheshire: Graphics Press.
- Young L., Sheena D., 1975, *Methods and designs: Survey of eye movement recording methods*. „Behavior Research Methods and Instruments” Vol. 7, no. 5, s. 397–429.
- Vanecek E., 1980, *Experimentelle Beiträge zur Wahrnehmbarkeit kartographischer Signaturen*. Wien: Die Österreichische Akademie der Wissenschaften.

Recenzował dr Paweł Kowalski

## Application of Eye-tracking in Cartography

### Summary

**Keywords:** eye-tracking technique, measuring eye-ball movement, map use

Eye-tracking is a group of various techniques in which eye movements are recorded usually in order to get information about the path composed of gaze points. Eye-tracking used to be a unusual technique, mainly because of lack of suitable equipment. Currently eye-tracking has become more available because the cost has become lower and it is not as time-consuming. Eye-tracking has become the focus of attention of psychology, medicine and ergonomics. It is also used in market research and research projects on HCI Human – Computer Interaction. Eye-tracking is also used by cartographers.

While reading a map, the part we concentrate our attention on is most effectively analyzed, i.e. the part whose image is located in the fovea centralis during fixation. The image changes together with saccades (fast eye movements) when we focus our attention on other parts of the map. Through employing the eye-tracking technique we can follow the cognitive process accompanying map reading. It can be determined for instance what catches the reader's attention first, what is the sequence of viewing the elements of map content, when the reader looks at the legend, etc.

Although first attempts at using the eye-tracking technique in cartography go back to 1970s cartographers lost interest in it later on. However, at the beginning of the new millennium a rise in the amount of publications can be noted.

The general aim of doing research with the eye-tracking technique is to get deeper insight into how maps are used, e.g. indicate typical visual behaviors.

Sometimes, the goal is to find out about behavior during visual searching of information on a map. An interesting approach connected to behavior is research in which the main goal is to recognize differences between the visual behavior of professional map users and the visual behavior of amateurs.

It is not easy to specify if the results of eye-tracking research can be used in map design or whether they discover anything new. It is certain however that using the technique in research can shed new light on popular opinions thus providing a strong scientific basis for arguments or strengthen knowledge. In cartography eye-tracking can be especially used in research on interactive maps, their usage advantages and interface designing. Sometimes the aim of research is to compare cartographic elaborations of similar content and functionality but different graphic form and distribution of interactive interface elements.

In the development of cartography, research with the use of eye-tracking has arranged, verified and settled knowledge. What used to be only assumed (especially when we were interested in the behavior during visual map analysis) can now be verified using eye-tracking.

Despite the progress in the technique of eye-tracking and its usage in cartography, many problems still need to be looked into. An important issue is the difficulty of interpreting the information about visual map analysis behavior. Thanks to eye-tracking we are able to determine which parts of a map are looked at, but it is still hard to indicate factors conditioning this behavior.

*Translated by M. Horodyski*

