

Ingrid PAŚKO

*Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN
w Krakowie*

Eyetrackingowe badania we wczesnej edukacji przyrodniczej

Abstract: Eye Tracking Research in Early Years Environmental Education

Eyesight plays a key role in the sensory exploration of the world. Most information from the world around us is received visually. Eye tracking research, which is carried out with computer equipment, specialist software being a key element in the process, allows us to identify and describe how pupils in early years education receive information through images. A mobile eye tracker was used in the study to analyse eye movement in third-graders during a computer-animated educational presentation of phase transition. The eye tracker was used to register how children's eyes moved throughout the animation; the number and length of eye fixations were also identified.

Key words: eye tracking research, early years environmental education, visual perception, computer animated educational presentation

Słowa kluczowe: badania eyetrackingowe, wczesnoszkolna edukacja przyrodnicza, percepcja wzrokowa, dydaktyczna animacja komputerowa

Rola obrazu w procesie poznania

Poznaniem nazywamy „ogół procesów i struktur psychicznych, biorących udział w przetwarzaniu informacji” (Nęcka, Orzechowski, Szymura, 2006, s. 22). Źródłem poznania może być osobiste doświadczenie człowieka, rozumiane jako „informacje uzyskiwane w trakcie bezpośredniego kontaktu z poznawaną rzeczywistością, przez podleganie jej oddziaływaniu i przez własne oddziaływanie na nią” (Tomaszewski, 1984, s. 23). Drugim źródłem poznania jest przekaz informacji. Może on się odbywać w formie werbalnej (bezpośredni przekaz nadawcy lub tekst) albo w formie wizualnej (ilustracja, fotografia, typografia, infografika, film, animacja).

Efektywność uczenia się w znacznym stopniu zależy od bodźców docierających do nas za pośrednictwem zmysłów. Najwięcej bodźców z otoczenia człowiek odbiera za pomocą wzroku, który odgrywa najważniejszą rolę w sensorycznym poznawaniu rzeczywistości. Wzrok informuje nas o barwach, kształtach, rozmiarze obiektów, stosunkach przestrzennych w otaczającym świecie, a także o następstwach czasowych, ruchach i zmianach w czasie. Pozwala również zwerfikować informacje dostarczane przez inne zmysły.

Otoczający świat obfituje w różnorodne informacje mające cechy obrazu. Wizualne przedstawienie przedmiotów i zdarzeń ułatwia proces poznawania rzeczywistości. Obraz — obok słowa — stanowi ważną formę przekazu informacji, w szczególności na pierwszym etapie kształcenia.

Rozwój technik komputerowych pozwala współczesnemu nauczycielowi w coraz większym stopniu wykorzystywać w procesie edukacji obrazy ruchome, takie jak filmy czy też ich fragmenty oraz animacje komputerowe. Obrazy ruchome mogą być prezentowane uczniom klas początkowych podczas zajęć dydaktycznych, są także zawarte w multimedialnych podręcznikach szkolnych oraz w materiałach uzupełniających do lekcji, uczniowie mogą je oglądać w internecie. W przekonaniu dydaktyków przedmiotów przyrodniczych ruch dynamizuje przekaz informacji w formie obrazowej, przez co ich odbiór staje się dla uczniów łatwiejszy i bardziej atrakcyjny.

W celu zobrazowania procesów i zjawisk zachodzących w mikroświecie nauczyciel wykorzystuje modele dydaktyczne, które mogą być statyczne albo dynamiczne, w postaci animacji komputerowych. Przeprowadzone wcześniej badania wykazały, że animacje, w których konstrukcji uwzględniono kinetyczno-molekularną teorię budowy materii, ułatwiają uczniom w młodszym wieku szkolnym rozumienie i wyjaśnianie zjawisk przyrodniczych zachodzących na poziomie mikroświata (Paśko, 2009, s. 525–526; Paśko, Zimak, 2012, s. 176). Zastosowanie skonstruowanych w ten sposób animacji zwiększa efektywność edukacji przyrodniczej na poziomie wczesnoszkolnym, gdyż informacje docierające do umysłu ucznia kodowane są nie tylko za pomocą sądów (logogenów), ale także za pomocą obrazów (imagenów). Informacje przekazywane wizualnie mają ogromne znaczenie w procesie uczenia się i nauczania, za pomocą obrazu, popartego słowem, można bowiem skuteczniej oddziaływać na odbiorcę komunikatu, którym jest uczeń klas początkowych.

Specyfika badań eyetrackingowych

Eyetracking jest techniką badawczą, która umożliwia pomiar, rejestrację oraz analizę danych o ruchach oczu i ich położeniu w określonym przedziale czasowym.

Badania eyetrackingowe mają ponad stuletnią historię, lecz zapotrzebowanie na nie zaczęło się dopiero wtedy, gdy wzrosła popularność komunikacji za pomocą obrazu (Sikora, Stolińska, 2016, s. 25). Dzięki intensywnemu rozwojowi elektroniki i narzędzi IT badania eyetrackingowe zyskały na znaczeniu oraz poszerzył się obszar ich zainteresowań. W ostatnim czasie znalazły zastosowanie w wielu dziedzinach nauk, w medycynie, psychologii, a także w pedagogice. Badania eyetrackingowe coraz częściej wykorzystywane są przez naukowców zajmujących się procesami uczenia się i nauczania.

Eyetracking i percepcja wzrokowa są ze sobą ściśle związane (Wawer, 2014, s. 23). Integralnym elementem percepcji wzrokowej są ruchy oczu. Siatkówka oka zawiera dwa rodzaje fotoreceptorów: czopki, które reagują tylko w dobrym świetle i odpowiadają za widzenie ostre (widzenie detali), a także widzenie barw, oraz pręciki odpowiedzialne za widzenie w słabym świetle. Rozmieszczenie obu rodzajów fotoreceptorów ma istotne znaczenie dla procesu widzenia (Strelau, 2000, s. 155). Aby utrzymać analizowany obraz w centrum siatkówki, niezbędne są szybkie i precyzyjne ruchy oczu.

Głównymi wartościami mierzonymi w badaniach eyetrackingowych są sakady i fiksacje. Polski specjalista w zakresie badań ruchów sakadowych oczu prof. Jan Ober pisze, że sakada to ruch oka „związany z szybkim, skokowym przeniesieniem linii wzroku na te punkty otoczenia wzrokowego, w których dostępna jest informacja potrzebna dla aktualnie realizowanego zadania poznawczego” (Ober i in., 2009, s. 111). Na ruchy skokowe składa się „szybka zmiana położenia gałki ocznej oraz pauza fiksacyjna, podczas której oko jest skierowane w jeden punkt obrazu” (Strelau, 2000, s. 156). Fiksacja natomiast jest to względnie stabilne skupienie wzroku na konkretnym elemencie oglądanego obrazu. To właśnie podczas fiksacji następuje odbiór informacji wzrokowych, a w czasie sakad odbiór informacji jest zahamowany.

Dzięki intensywnemu rozwojowi techniki mikroprocesorowej pojawiły się urządzenia pomiarowe składające się z kamery skanującej ruch źrenic, oprogramowania komputerowego, umożliwiającego rejestrację oglądanego przez badaną osobę obrazu i nałożonych graficznych trajektorii ruchu oczu oraz punktów zatrzymania wzroku, czyli fiksacji (Wawer, 2014, s. 12). W ogólnie dostępnych na rynku eyetrackerach kamera wykrywa położenie gałek ocznych, oświetlanych niewidzialnym dla człowieka światłem podczerwonym oraz rejestruje odbicia tego światła od rogówki, widoczne w postaci refleksów (zwane również odbiciami Purkiniego) (Stolińska, 2016, s. 348). Na podstawie położenia źrenicy oraz odbicia światła podczerwonego na rogówce liczy się wektor odległości między nimi, co pozwala wyznaczyć punkt skupienia wzroku (Sikora, Stolińska, 2016, s. 27–28). Badanie eyetrackerem jest nieinwazyjne i całkowicie bezpieczne.

Obecnie występują dwa rodzaje eyetrackerów: stacjonarny, działający bezdotykowo, który służy do badania obrazów prezentowanych na monitorze kompu-

tera, oraz mobilny, który pozwala rejestrować badaną rzeczywistość w ruchu i przestrzeni (Wawer, 2014, s. 12–13). Eyetrackery stacjonarne występują w postaci wolnostojącego urządzenia zintegrowanego z monitorem komputera bądź też systemu pozwalającego na stabilizację badanego w stosunku do układu pomiarowego. Tego rodzaju eyetrackery znajdują zastosowanie przede wszystkim w sytuacji, gdy wystarczająca jest rejestracja ruchów oczu podczas oglądania obrazów pokazywanych na monitorze komputera. Mobilne eyetrackery nagłowne, zwane także okularowymi, umożliwiają badania w środowisku naturalnym obiektu, np. w pomieszczeniach z urządzeniami sterowniczymi, w obiektach użyteczności publicznej, sklepach (Stolińska, 2016, s. 348).

Dane uzyskane podczas badań eyetrackingowych mogą być przedstawiane na wiele różnych sposobów. Jedną z najczęściej występujących form wizualizacji wyników jest mapa ciepła (*heat map*), pokazująca obszary, na które badana osoba kierowała wzrok. Szczególną cechą takiej prezentacji jest nadanie kolorów obszarom najbardziej skupiającym uwagę, odpowiadającym częstotliwości i czasowi obserwacji. Kolor czerwony odzwierciedla największe skupienie wzroku, żółty nieco mniejsze, zielony natomiast minimalne. Obszary, na które wzrok nie był w ogóle kierowany, pozostają bezbarwne (Czerski, Wawer, 2009, s. 30–31). Rozkład map ciepłych można rozpatrywać, uwzględniając takie kryteria, jak: całkowita liczba fiksacji, absolutny czas fiksacji i relatywny czas fiksacji. Należy jeszcze podkreślić, że każda z map będzie przedstawiać różne wyniki i można je odmiennie interpretować (Wawer, 2014 s. 15). W tym sposobie prezentacji wyników badania brakuje jednak informacji o kolejności skanowania poszczególnych obszarów.

Jeśli chcemy uzyskać informacje o kolejności skupiania wzroku przez badaną osobę, należy użyć ścieżek skanowania wzrokiem (*gaze plot*). W postaci linii prezentują one drogę, jaką pokonało oko, dokonując kolejnych fiksacji, czyli ukazują ruch sakadowy. Fiksacje natomiast ilustrowane są przez koła, przy czym im większa jest ich średnica, tym dłuższy jest czas fiksacji (Nowakowska-Buryła, Joński, 2012, s. 487).

Podczas analiz danych z badania eyetrackingowego trzeba określić obszary, które są interesujące w odniesieniu do celu badania. Obszary te, nazywane AOI (*area of interest*), są przydatne przy wyznaczaniu tendencji patrzenia oraz określaniu stopnia skupiania uwagi przez dany obszar. Każdy badany obraz można podzielić na wiele takich obszarów i odpowiednio je nazwać (Wawer, 2014, s. 16–17). AOI umożliwia przeprowadzenie analiz kierunku fiksacji oraz dokonywanie porównań wyników pomiędzy obszarami.

Przebieg i interpretacja badań eyetrackingowych w edukacji przyrodniczej na poziomie wczesnoszkolnym

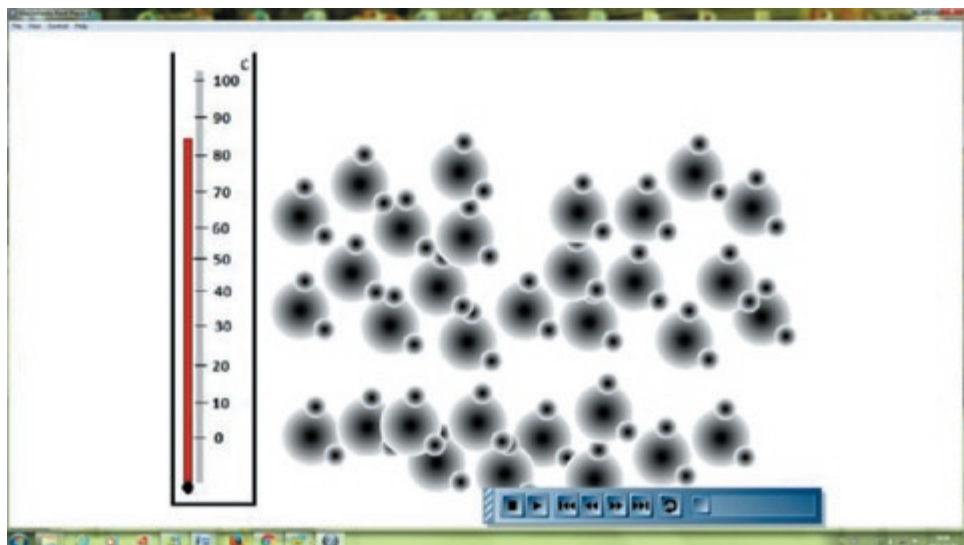
Do badań przeprowadzonych w czerwcu 2017 r., za pomocą mobilnego eyetrackera The Eye Tribe Tracker, 60 Hz, model ET1000, współpracującego z programem Ogama (wersja 5.0), wykorzystano animację przedstawiającą proces parowania i wrzenia wody. Badaniami eyetrackingowymi objęto grupę dziecięciu uczniów klasy III szkoły podstawowej. Podczas przeprowadzania pomiarów eyetrackerem analizowano sposób, w jaki każde badane dziecko śledzi wzrokiem ruchomy obraz emitowany na monitorze komputera.

Przed rozpoczęciem pomiarów poszczególni uczniowie otrzymali następującą informację słowną: woda składa się z cząsteczek i przechodzi ze stanu ciekłego w lotny. Proces ten określa się jako parowanie, a jego szybkość zależy od temperatury otoczenia. Zadaniem każdego ucznia było obserwowanie na monitorze komputera animacji przedstawiającej ruch cząsteczek wody podczas parowania i wrzenia.

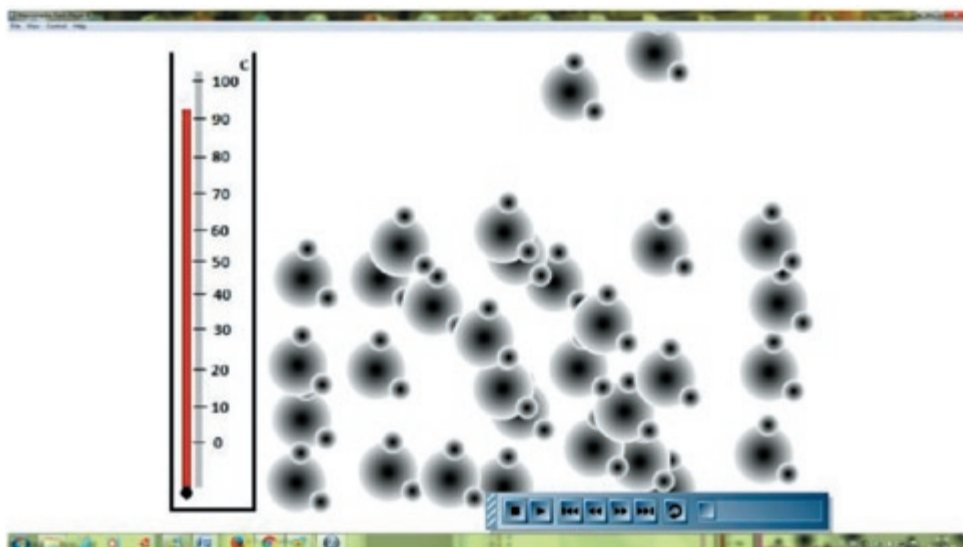
Następujące po sobie trzy fazy animacji odnoszącej się do procesu parowania i wrzenia wody przedstawiono poniżej na rysunkach.

Ze względu na zastosowaną technikę eyetrackingową uczniowie badani byli indywidualnie. Czas wyświetlania animacji dla każdego z nich wynosił 36 sekund.

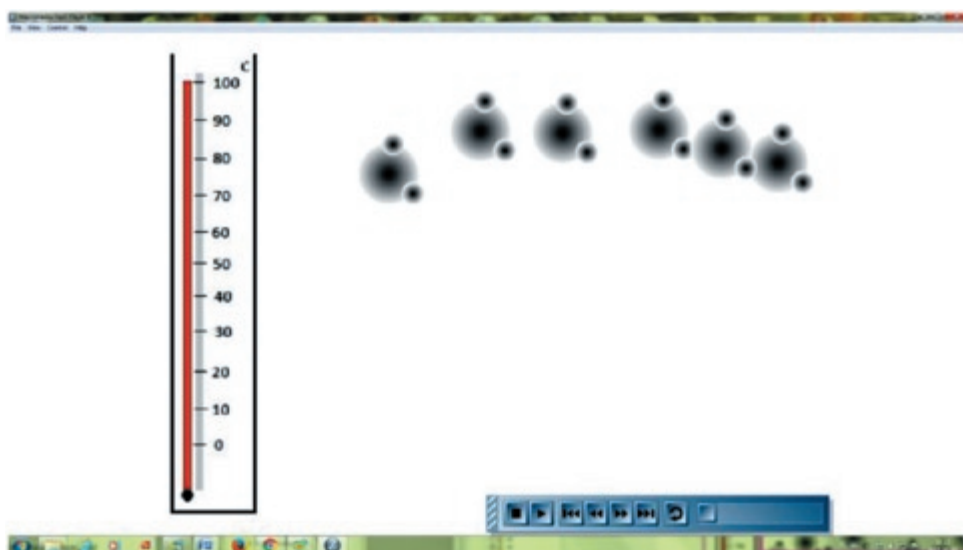
W celu analizy ruchów oczu badanych dzieci obraz animacji podzielono na cztery obszary. W obszarze oznaczonym literą A znajdował się rysunek termo-



Ryc. 1. Początkowa faza animacji



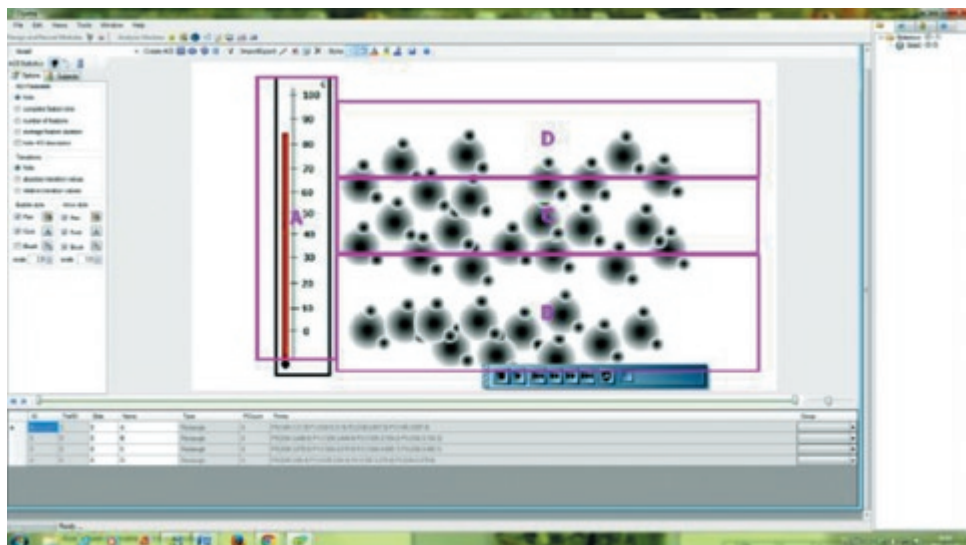
Ryc. 2. Środkowa faza animacji



Ryc. 3. Końcowa faza animacji

metru. Pozostałe obszary, oznaczone literami B, C i D, zawierały wizualizację ruchu cząsteczek wody (ryc. 4).

Na podstawie analizy uzyskanych pomiarów eyetrackingowych określono liczbę oraz czas fiksacji podczas obserwowania przez uczniów poszczególnych obszarów animacji.



Ryc. 4. Obraz animacji podzielony na obszary

Z dokonanych pomiarów wynika, że w obszarze A stwierdzono tylko 6 fiksacji u pięciorga dzieci, które trwały łącznie 2678 ms. Czas fiksacji w obszarze A u tych badanych wahał się od 337 do 831 ms. Liczba fiksacji w obszarze A stanowi około 8% (7,69) całkowitej liczby fiksacji, mających miejsce w trakcie wyświetlania animacji. Najwięcej fiksacji zaobserwowano w środkowym obszarze C — stanowiły one 64,1% wszystkich zarejestrowanych fiksacji. Liczba fiksacji w tym obszarze u poszczególnych uczniów wahała się od 29 do 0.

Liczbę fiksacji w zaznaczonych obszarach dla poszczególnych uczniów z uwzględnieniem obszarów badania przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Liczba fiksacji w zaznaczonych obszarach u badanych uczniów

Wydzielone obszary	Liczba fiksacji wszystkich uczniów	Liczba fiksacji poszczególnych uczniów oznaczonych liczbami								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	6	1	1	0	0	0	0	1	1	2
B	15	1	0	4	0	1	3	2	2	3
C	50	2	1	2	2		3	6	5	29
D	7	0	1	4	0	0	0	0	2	0

Źródło: opracowanie własne

Łączny czas fiksacji dla poszczególnych uczniów we wszystkich badanych obszarach wahał się od 600 do 16 253 ms (tabela 2), co stanowi 1,7–45,1% czasu wyświetlania animacji.

Tabela 2. Całkowity czas fiksacji w zaznaczonych obszarach u badanych uczniów

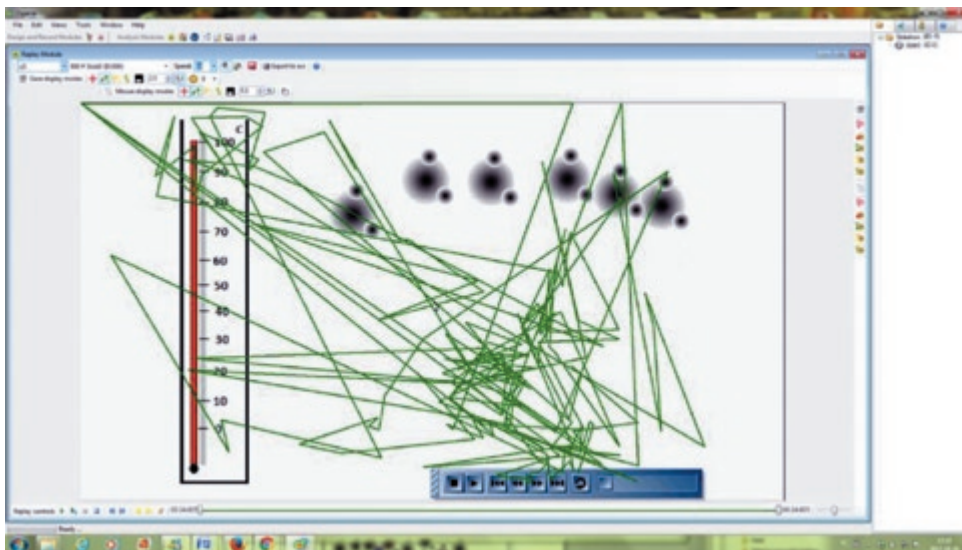
Wydzielone obszary	Czas fiksacji wszystkich uczniów	Czas fiksacji poszczególnych uczniów oznaczonych liczbami								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	2678	526	337	0	0	0	0	831	355	629
B	9750	427	0	1385	0	2245	1177	1227	1007	2282
C	31307	936	1941	451	600	0	1930	6986	5121	13342
D	8047	0	1302	4080	0	0	0	0	2665	0

Źródło: opracowanie własne

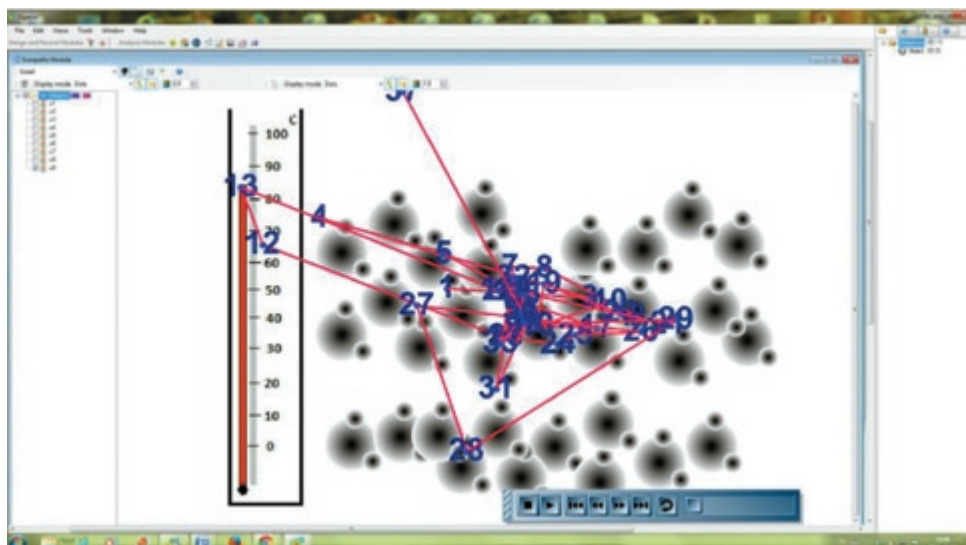
W celu odpowiedzi na pytanie, co obserwował każdy uczeń poza czasem fiksacji, przeanalizowano ruchy oczu badanych podczas wyświetlania animacji. Analiza wykazała, że uczniowie wykorzystali pozostały czas na szybkie śledzenie ruchu cząsteczek wody. Zatrzymanie wzroku uczniów trwało zbyt krótko, aby mogło zostać zarejestrowane przez urządzenie jako fiksacja.

W trakcie pomiarów okazało się, że każdy z badanych uczniów zaczynał obserwację od innego punktu obszaru animacji, a następnie pozostawał w tym samym obszarze (badani 1, 5, 7) lub szybko przynosił wzrok do innych obszarów. Niektórzy w ciągu pierwszych dwóch sekund przemieszczali wzrok do obszaru A, w którym zlokalizowany był termometr (badani nr 2, 4, 6 i 9).

Na szczególną uwagę zasługuje wynik pomiaru ucznia nr 5, u którego zarejestrowano tylko jedną fiksację trwającą 2245 ms. Dokładna analiza filmu reje-



Ryc. 5. Ruch oczu ucznia nr 5 podczas oglądania animacji



Ryc. 6. Obraz fiksacji ucznia nr 9

strującego ruch oczu pokazała, że wzrok tego ucznia przesuwiał się po wszystkich obszarach animacji zdecydowanie wolniej niż wzrok pozostałych uczniów, co przedstawiono na ryc. 5.

Opisanego powyżej sposobu oglądania animacji przez ucznia nr 5 nie można powiązać z jego osobowością, ponieważ badania były anonimowe. Możemy jedynie przypuszczać, że procesy myślowe zachodzą u niego nieco wolniej niż u pozostałych uczniów poddanych badaniom eyetrackingowym. Uzyskanie takiego wyniku sugeruje, że uczeń ten wymaga większego zainteresowania w celu wyeliminowania ewentualnych trudności w uczeniu się.

Podczas oglądania animacji wzrok najbardziej koncentrował uczeń nr 9, o czym świadczy większa niż u pozostałych liczba fiksacji. Wzrok tego ucznia ogniskował się głównie na ruchu cząsteczek wody w cieczy, a tylko dwa razy skupił się na termometrze pokazującym temperaturę wody w czasie zachodzącego procesu, dłużej natomiast jego wzrok zatrzymał się na górnej krawędzi całego obszaru animacji (ryc. 6).

Refleksje końcowe

Sposoby oglądania animacji przez każdego ucznia były różne. Na podstawie uzyskanych za pomocą eyetrackera pomiarów możemy wyróżnić dwie strategie oglądania. Jedną z nich było skupienie przez dziecko uwagi w jednym punkcie obrazu i wypatrywanie, co się w nim zmienia, a następnie przeniesienie wzroku

na inny punkt i znów oczekiwanie na ewentualne zmiany. O takim sposobie oglądania przez dzieci animacji świadczą długie czasy fiksacji.

Druga strategia polegała natomiast na szybkim przemieszczaniu się wzroku dziecka i obserwowaniu poruszających się cząsteczek wody. Możemy o tym wnioskować na podstawie analizy zapisu ruchu wzroku badanych w obrębie pola animacji.

We wszystkich analizowanych przypadkach wystąpił mieszany tok postępowania, gdyż przez część czasu badani uczniowie skupiali wzrok na kilku punktach wyświetlanego obrazu, a pozostały czas wykorzystywali na obserwowanie ruchu cząsteczek wody. Proporcje między tymi dwoma sposobami postępowania były różne u poszczególnych uczniów.

Badania eyetrackingowe pozwalają śledzić przebieg ścieżki wzroku w czasie oglądania zarówno obrazu statycznego, jak i ruchomego, a także poszczególne etapy rozwiązywania zadań problemowych.

W eyetrackingu czas oglądania obrazu przez ucznia wyznaczony jest przez prowadzącego badania (w praktyce szkolnej przez nauczyciela). Na podstawie wyników analizy zapisu przemieszczania się wzroku można określić optymalny czas wyświetlania obrazu.

Badanie eyetrackingowe pozwala określić minimalny czas potrzebny uczniowi na rozwiązanie zadania problemowego.

Wyniki badań eyetrackingowych można wykorzystać w trzech aspektach. Jednym z nich jest optymalizacja procesu uczenia się i nauczania oraz przygotowanie strategii indywidualnego oddziaływania na ucznia w tym procesie. Drugi aspekt obejmuje problematykę związaną z doбором i tworzeniem środków dydaktycznych, które będą w optymalny sposób oddziaływać na uczących się. Trzeci aspekt — rezultaty tych badań dają możliwość wykrywania u uczniów dysfunkcji w procesie myślenia.

Konkludując, można sywierdzić, że eyetracking otwiera nową kartę w badaniach nad przebiegiem i efektywnością procesu kształcenia.

Bibliografia

- Czerski, W., Wawer, R. (2009). *Badania eyetrackingowe — historia i terażniejszość*. W: A. Jastrzebow (red.), *Technologie informatyczne w nauce, technice i edukacji*. Radom: Politechnika Radomska, s. 129–132.
- Nęcka, E., Orzechowski, J., Szymura, B. (2006). *Psychologia poznawcza*. Warszawa: PWN.
- Nowakowska-Buryła, I., Joński, T. (2012). *Eyetrackingowe badania prezentacji multimedialnych*. W: W. Skrzydlewski, S. Dylak (red.), *Media — edukacja — kultura. W stronę edukacji medialnej*. Rzeszów: URz, s. 487–499.
- Ober, J., Dylak, J., Gryniewicz, W., Przedpelska-Ober, E. (2009). *Sakkadometria — nowe możliwości oceny stanu czynnościowego ośrodkowego układu nerwowego*. „Nauka”, nr 4, s. 109–135.

- Paško, I. (2009). *Jak pokazać dziecku obraz mikroświata?* W: M. Bilek (red.), *Výzkum, teorie a praxe v didaktice chemie*. Hradec Králové: Gaudeamus Univerzita Hradec Králové, s. 523–534.
- Paško, I., Zimak, P. (2012). *Animacja komputerowa w poznawaniu przyrody przez dzieci w młodszym wieku szkolnym*. W: K. Gąsiorek, I. Paško (red.), *Poznanwanie świata w edukacji dziecka*. Kraków: Wyd. Naukowe UP, s. 169–189.
- Sikora, M., Stolińska, A. (2016). *Zastosowanie okulografii w badaniach interfejsów użytkownika*. W: W. Błasiak (red.), *Neuronauka i eyetracking*. Kraków: Libron, s. 17–41.
- Stolińska, A. (2016). *Technika eyetrackingowa w studenckich projektach badawczych*. „Pedagogika”, XXV, s. 347–360.
- Strelau, J. (2000). *Psychologia. Podręcznik akademicki*. T. 1: *Podstawy psychologii*. Gdańsk: Gdańskie Wyd. Psychologiczne.
- Tomaszewski, T. (1984). *Ślady i wzorce*. Warszawa: WSiP.
- Wawer, R. (2014). *Eyetracking w przestrzeniach edukacji medialnej*. Lublin: Lubelskie Tow. Naukowe.