

**Władysław BŁASIAK, Małgorzata GODLEWSKA, Roman ROSIEK,  
Dariusz WCISŁO**

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Polska

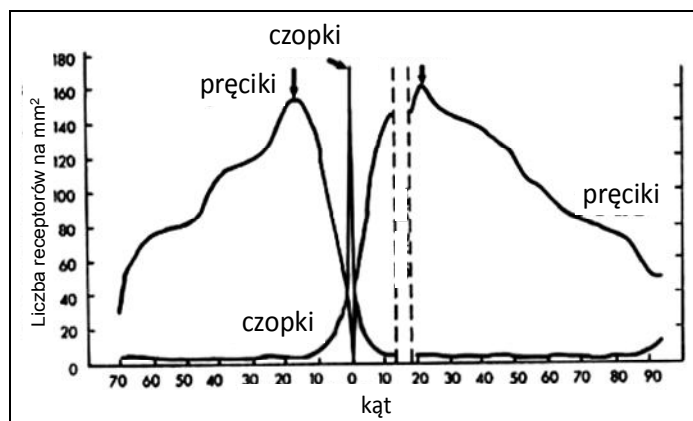
## **Eye tracking. Nowe możliwości eksperymentalne w badaniach edukacyjnych**

### **Wstęp**

Przysłowie powiada, że oczy są zwierciadłem duszy. W świetle dzisiejszej wiedzy neurobiologicznej można powiedzieć także, że oczy są zwierciadłem procesów myślowych zachodzących w mózgu. Oczy są najbardziej wysuniętym na zewnątrz ciała elementem mózgu, który dostarcza najwięcej bodźców z otoczenia. Według niektórych badaczy oczy dostarczają aż ok. 80% bodźców (Oziemski, *Technika...*). Dla naszego życia, a także dla edukacji ma to fundamentalne znaczenie. Rejestracja aktywności oczu w trakcie uczenia się może pomóc w zrozumieniu mechanizmów percepcji wizualnej, a tym samym przyczynić się do poprawy efektywności nauczania. Jest to szczególnie ważne w przypadku tych dziedzin wiedzy, których nauczanie i uczenie się uważane jest powszechnie za trudne, takich jak np. fizyka czy matematyka. Rozwój wiedzy neurobiologicznej, a także gwałtowna ekspansja technologii informacyjnej stwarzają nowe możliwości badawcze w obszarze edukacji [Błasiak, Godlewska, Rosiek, Wcisło 2012; Madsen, Larson, Loschky, Rebello 2012].

### **1. Fiksacje oraz sakkady oczu**

Około 135 lat temu francuski lekarz, profesor Sorbony Emil Javal odkrył zadziwiającą właściwość ludzkiego oka. Okazało się, że nasz mózg nie koncentruje się na całym dostępnym fizycznie polu widzenia oka, ale wybiera tylko te jego fragmenty, których obraz powstaje w najlepiej zaopatrzonej w fotoreceptory obszarze siatkówki, zwanym „żółtą plamką”. Tam bowiem zagęszczenie czopków dochodzi do ok. 170 000 na mm<sup>2</sup> i obraz jest najbardziej ostry [Lindsay, Norman 1991]. W miarę oddalania się od żółtej plamki koncentracja komórek czułych na barwy obniża się gwałtownie, np. w odległości 10 stopni jest kilkanaście razy mniejsza (rys. 1).



**Rys. 1. Rozkład receptorów ludzkiego oka [Lindsay, Norman 1991]**

Wbrew naszym subiektywnym odczuciom nasze oczy nie widzą otoczenia w sposób ciągły. Oko działa tak, że zatrzymuje się na wybranym, obserwowanym fragmencie na ok. 200 ms. Takie zdarzenie nazywamy fiksacją (ang. *fixation*). Potem skokowo przenosimy wzrok na inne miejsca z częstotliwością 4 do 5 razy na sekundę. Powierzchnia dobrze widzianego obszaru rzeczywistości, dla pojedynczej fiksacji, zawiera się wewnątrz stożka o rozwartości około 3,5 stopnia. To tak, jakby oglądać świat przez otwór kołowy o wielkości pięciozłotowej monety, trzymanej w odległości wyciągniętego ramienia (rys. 2).



**Rys. 2. Zdjęcie ilustrujące wielkość pola powierzchni oglądanego obiektu tworzącego obraz na plamce żółtej dla pojedynczej fiksacji oka**

Przeniesienie oka na inny fragment otoczenia nazywa się sakkadą (ang. *saccade*). Przeciętna sakkada o amplitudzie kilkunastu stopni trwa zaledwie około 50 ms. Maksymalne prędkości ruchów sakkadycznych u zdrowych osób osiągają 500 stopni na sekundę [Ober, Dylak, Gryncewicz, Przedpelska-Ober 2009].

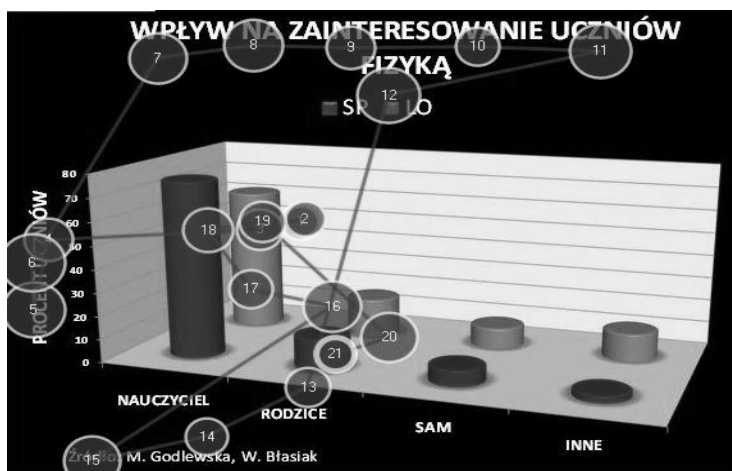
Zmieniające się w sposób skokowy obrazy są analizowane w ośrodkowym układzie nerwowym. Ponad 50% neuronów kory wzrokowej zajmuje się analizą oraz scalaniem obrazów uzyskiwanych w trakcie fiksacji oka [Lindsay, Norman 1991].

Wiedza o tych procesach, a w szczególności informacja na temat czasów fiksacji, prędkości, liczbie oraz częstotliwości ruchów sakkadycznych, może być niezwykle cennym materiałem ułatwiającym zrozumienie mechanizmów percepcji wzrokowej w trakcie uczenia się i rozwiązywania problemów o różnym stopniu trudności. Może także być bardzo pomocna w badaniu różnorodnych dysfunkcji spowalniających proces edukacji.

## 2. Eyetracking

Aby badać sakkadyczny mechanizm procesu widzenia, należy rejestrować przez dłuższy czas skokowe ruchy gałki oka. Źrenica oka przesuwa się podczas tych ruchów o zaledwie ok. 0,2 mm w czasie około 20 ms [Ober, Dylak, Grynciewicz, Przedpelska-Ober 2009]. Tego nie można zauważyć „gołym okiem”. Służą do tego różne typy okulografów. Jedne z nich dokonują pomiaru napięcia indukowanego w cewce umieszczonej w soczewce kontaktowej oka, inne dokonują rejestracji ruchu oka za pomocą kamer wideo działających najczęściej w obszarze podczerwieni, a jeszcze inne mierzą potencjał elektryczny wokół oczu (elektrookulofografy). Obecnie jest wiele ofert sprzedaży różnego rodzaju okulografów zwanych eyetrackerami. Najczęściej są one stosowane w badaniach marketingowych atrakcyjności reklam oraz stron internetowych.

Na rys. 3 zaprezentowano aktywność oczu jednego ze współautorów tego artykułu w trakcie oglądania histogramu prezentującego wpływ różnych czynników na zainteresowanie uczniów fizyką. Zastosowano eyetracker firmy Tobii model T 60 [Błasiak 2011]. Kolejne pozycje fiksacji oczu są zaznaczone kółkami, których pola powierzchni są proporcjonalne do czasów fiksacji.



Rys. 3. Sakkady oczu jednego z autorów w trakcie oglądania histogramu

### 3. Eksperyment dydaktyczny

W lipcu 2012 r. przeprowadziliśmy eksperyment dydaktyczny z losowo wybraną grupą 35 uczniów jednego z krakowskich liceów ogólnokształcących.

Jednym z celów eksperymentu było poznanie charakterystycznych strategii postępowania uczniów w trakcie rozwiązywania trudnych zadań. Śledziliśmy ruchy oczu uczniów w czasie rozwiązywania sześciu zadań z fizyki.

Aby poznać preferencje uczniów w zakresie ich aktualnych zainteresowań oraz możliwości wyboru profesji związanej z naukami przyrodniczymi, poprosiliśmy uczniów o ocenę w skali od 0 do 10 prawdziwości poniższych zdań:

1. Interesuję się fizyką.
2. Chcę zostać przyrodnikiem.
3. Uważam, że fizyka jest przydatna dla społeczeństwa.

Rys. 4 przedstawia rozkład uzyskanych wyników.

Średnie deklarowane zainteresowanie fizyką, w skali od 0 do 10, wyniosło 6,4, przydatność fizyki dla społeczeństwa oceniono na 8,9, a chęć zostania przyrodnikiem na 2,4. Szczegółowa analiza wyników badań eyetrackingowych pozwoliła na wykrycie zaskakującej nas zależności. Okazało się, że odpowiedzi uczniów dotyczące poziomu ich zainteresowania fizyką (liczby w skali od 0 do 10) były często nieco wyższe od tych wartości, które sugerowały pozycje ich oczu w trakcie wyboru odpowiedzi. W kilku przypadkach uczniowie dokonali wyboru odpowiedzi, której nie rozważali w trakcie analizy wzrokowej. Niepokoi nas fakt, że większość uczniów interesuje się fizyką i uważa ją za przydatną dla społeczeństwa, jednak nie zamierza wiązać swojej zawodowej przyszłości z naukami przyrodniczymi. Uzyskane dane wskazują na ogólnoświatowe tendencje w ostatnich kilkunastu latach [Sjoberg, Schreiner 2007].

#### Interesuję się fizyką



#### Chcę zostać przyrodnikiem

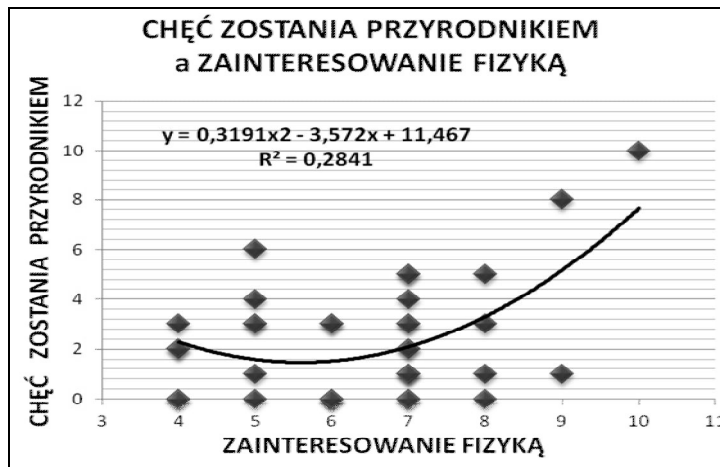


#### Uważam, że fizyka jest przydatna dla społeczeństwa



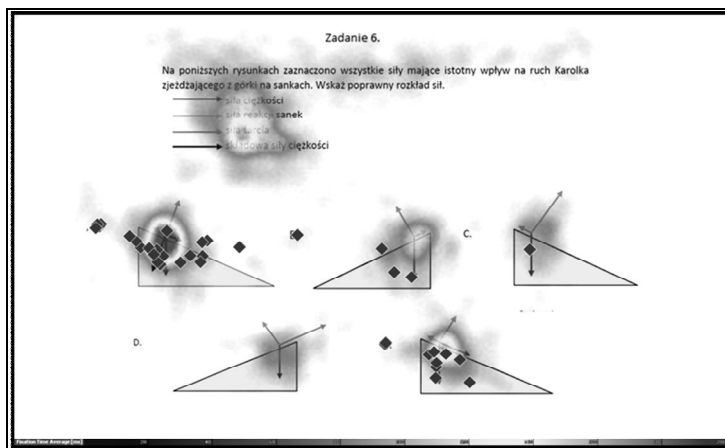
Rys. 4. Obszary aktywności oczu badanych uczniów (heatmap)

Rys. 5 prezentuje korelację pomiędzy chęcią zostania przyrodnikiem a deklarowanym zainteresowaniem fizyką. Wartość współczynnika korelacji Pearsona wynosi  $S = 0,54$ .



Rys. 5. Korelacja pomiędzy chęcią zostania przyrodnikiem a deklarowanym zainteresowaniem fizyką

Z badanej próby wyodrębniliśmy dwie grupy uczniów z najniższymi oraz z najwyższymi ocenami szkolnymi. Eyetracker umożliwił pomiar czasu zatrzymania wzroku na wyodrębnionych obszarach tekstu zadań prezentowanych badanym uczniom. Zastosowaliśmy test wyboru z pięcioma dystraktorami. Rys. 6 prezentuje, za pomocą intensywności kolorów, aktywność oczu przy rozwiązywaniu wybranego zadania. Kwadraty oznaczają wybrane warianty odpowiedzi przez poszczególnych uczniów.

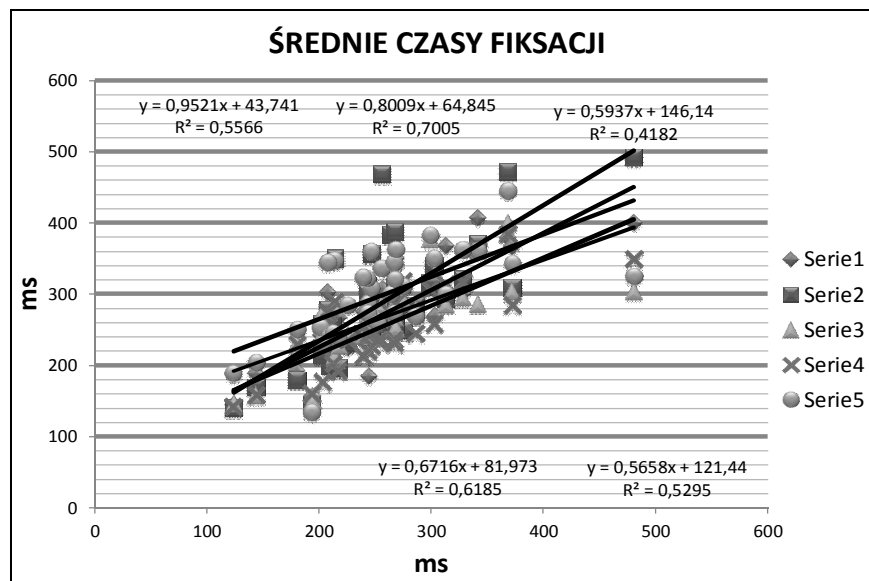


Rys. 6. Umownie zaznaczone czasy fiksacji oraz odpowiedzi uczniów

Szczegółowe analizy wykazały, że najlepsi uczniowie około dwa razy dłużej zatrzymują wzrok na treści zadania (area of interest) w stosunku do uczniów o najniższych ocenach. To ważny sygnał dla nauczycieli przedmiotu.

Dla słabszych uczniów obserwowaliśmy znacznie częstsze powroty do oglądanych wcześniej fragmentów grafiki zadania.

Okazało się, że każdy uczeń ma charakterystyczną dla siebie sprawność „maszinerii mózgowej”. Wykryliśmy bardzo wysoką korelację pomiędzy takimi psychofizycznymi parametrami badanych, jak średnia liczba sakkad oraz częstotliwość fiksacji przy rozwiązywaniu różnych zadań. Rys. 7 prezentuje przykładowe korelacje średnich czasów fiksacji 35 badanych uczniów przy rozwiązywaniu zadania pierwszego z średnimi czasami fiksacji podczas rozwiązywania pięciu innych zadań.



**Rys. 7. Korelacje czasów fiksacji dla wybranych zadań**  
(zadania pierwszego z pozostałymi pięcioma zadaniami).

Dla wszystkich 15 możliwych wzajemnych korelacji średnich czasów fiksacji (tyle jest niezależnych par dla sześciu zadań), współczynniki korelacji Pearsona okazały się zaskakująco wysokie – od 0,64 do 0,83. To zapowiedź wysokiej powtarzalności wyników, a tym samym bardzo dobra rekomendacja proponowanej metody w badaniach edukacyjnych.

#### 4. Konkluzje końcowe

Metodą eyetrackingu można mierzyć w sposób nieinwazyjny wiele istotnych parametrów związanych z aktywnością mózgu w trakcie rozwiązywania

różnorodnych problemów edukacyjnych. Można np. wyznaczać obszary fiksacji oczu badanych osób, czasy tych fiksacji (całkowite oraz średnie), szybkości sakkad oraz czasy reakcji oczu na prezentowane bodźce (saccade latency). Wyniki uzyskane w naszym eksperymencie potwierdzają istnienie ogromnego potencjału badawczego metody eyetrackingu w prowadzeniu badań edukacyjnych.

### Podziękowania

Bardzo serdecznie dziękujemy p. Hubertowi Turajowi oraz p. Marcinowi Kręcichowi z EDISONDY sp. z o.o. w Krakowie za udostępnienie sprzętu oraz umożliwienie przeprowadzenia badań. Składamy także podziękowania p. Juli Falkowskiej za wykonanie prezentowanego w pracy gazeplotu (rys. 3) za pomocą sprzętu firmy Eyetracking sp. z o.o. w Warszawie.

### Literatura

- Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R., Wcisło D. (2012), *Spectrum of physics comprehension*, „European Journal of Physics”, 33, 565–57.
- Błasiak W. (2011), *Rozważania o nauczaniu przyrody*, Kraków.
- Javal E. (1879), *Esai sur la psychologie de la lecture*, „Annales d’Oculometrie”, 82, 242–253.
- Lindsay P.H., Norman D.A. (1991), *Procesy przetwarzania informacji u człowieka*, Warszawa.
- Madsen A., Larson A., Loschky L., Rebello S. (2012), *Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems*, „Physical review special topics, Physics Education Research”, 8, 010122 (1–13).
- Ober J., Dylak J., Gryniewicz W., Przedpelska-Ober E. (2009), *Sakkadometria – nowe możliwości oceny stanu czynnościowego ośrodkowego układu nerwowego*, „Nauka”, nr 4, 109–135.
- Oziemski P., *Technika świetlna od podstaw*, www.swiatlo.tak.pl
- Sjoberg S., Schreiner C. (2007), *Young learners’ attitudes and interest: Results and perspectives from the project ROSE (The Relevance of Science Education)*, International Newsletter on Physics Education, October.

### Streszczenie

Prezentujemy zalety okulografii oraz metody eye-trackingu w badaniach edukacyjnych. W przeprowadzonym eksperymencie rejestrowaliśmy aktywność oczu studentów w trakcie rozwiązywania testu wyboru dotyczącego problemów przyrodniczych oraz podczas reakcji na zdania dotyczące ich zainteresowania fizyką, ich opinią o przydatności fizyki dla społeczeństwa oraz ich zamiarem zostania przyrodnikami. Zaprezentowano korelację pomiędzy chęcią zostania przyrodnikiem a zainteresowaniem fizyką. Na podstawie analizy aktywności oczu (mapy koncentracji uwagi) sprawdzaliśmy różne strategie rozwiązywania problemów przez dobrze i słabo przygotowanych uczniów. Odkryto niespodziewanie wysoką korelację pomiędzy średnimi czasami fiksacji podczas rozwiązy-

wania różnych zadań przez tę samą osobę. Eksperyment został przeprowadzony w grupie 35 uczniów szkoły średniej.

**Słowa kluczowe:** edukacja, zainteresowanie uczniów, eye tracking, okulografia, analiza rozwiązywania problemów przyrodniczych.

### **Eye tracking. New experimental possibilities in educational research**

#### **Abstract**

We present advantages of oculography and eye-tracking method in educational research. In the experiment presented here we have recorded student's eye activity during solving science choice tests as well as responses to statements concerning their interest in physics, their opinion on usefulness of physics for society and their intention to become scientist. The correlation between the intention to become a scientist and interest in physics has been presented. By analyzing the area of eye activity (heat maps) we have studied different problem solving strategies taken by well and bad prepared students. We have discovered unexpectedly high correlation of average fixation times during solving different tasks for each individual. The experiment was performed on a sample of 35 secondary school students.

**Key words:** education, students interest, eye tracking, oculography, analysis of science problem solving.