

## **Eye-tracking i jego zastosowanie w dydaktyce przedmiotów przyrodniczych**

Władysław Błasiak, Małgorzata Godlewska, Roman Rosiek,  
Dariusz Wcisło, Magdalena Andrzejewska, Paweł Pęczkowski,  
Bożena Rożek, Mirosława Sajka, Anna Stolińska,  
Erazm M. Dutkiewicz <sup>(1)</sup>, Paweł Kazubowski

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie,  
Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny,  
Grupa Badawcza Dydaktyki Kognitywnej

<sup>(1)</sup> Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie

*Abstrakt: W artykule omówiono biofizyczne podstawy eye-trackingu. Przedstawiono ideę wykorzystania eye-trackingu w badaniach naukowych z zakresu dydaktyki przedmiotów przyrodniczych. Zaprezentowano przykładowe wyniki badań prowadzonych przez interdyscyplinarną Grupę Badawczą Dydaktyki Kognitywnej Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie, dotyczące percepcji wzrokowej uczniów oraz studentów w trakcie rozwiązywania zadań.*

*Słowa kluczowe: dydaktyka przedmiotów przyrodniczych, dydaktyka fizyki, eye-tracking.*

### **WSTĘP**

W ostatnich latach notujemy na świecie gwałtowny rozwój badań eye-trackingowych [Duch2007], [Franc2013]. W 2013 roku ukazał się przeglądowy artykuł w *The Educational Research Review*, w którym dokonano przeglądu najważniejszych publikacji dotyczących zastosowania technologii eye-trackingowej w badaniu procesu uczenia się i nauczania [Lai2012]. Z analizy około 100 prac znajdujących się na liście *Social Science Citation Index* wynika, że ta nowa, burzliwie rozwijająca się technologia badawcza koncentruje się wokół takich zagadnień, jak: badanie mechanizmów przetwarzania informacji w nauczaniu, weryfikowanie teorii nauczania, badanie indywidualnych różnic u uczących się osób, efektywność różnych strategii nauczania i uczenia się, sposoby podejmowania decyzji oraz badania rozwoju pojęć.

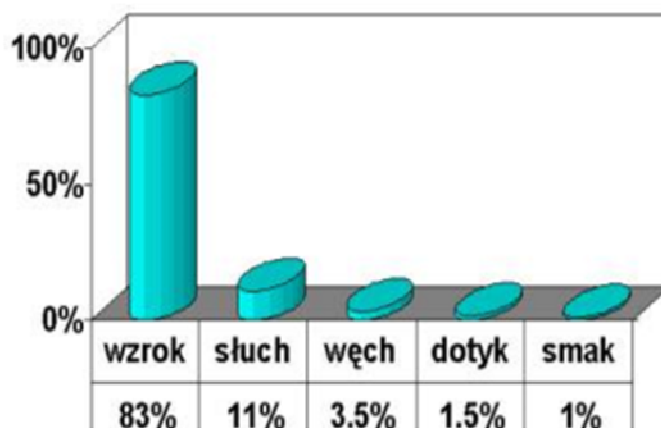
W Polsce istnieje grupa kilkudziesięciu osób, które wykorzystują eye-tracking w badaniu atrakcyjności dzieł sztuki, efektywności stron internetowych, lingwistyce, ocenie zagrożeń ruchu drogowego, marketingu. Pierwsza Ogólnopolska Konferencja Eye-trackingowa odbyła się w 2012 roku na Katolickim Uniwersytecie Lubelskim, a druga w 2013 roku na Uniwersytecie Warszawskim.

Badania z zakresu dydaktyki fizyki, matematyki, informatyki i biologii prowadzone są przez kilkunastoosobową Grupę Badawczą Dydaktyki Kognitywnej (GBDK) działającą na Wydziale Matematyczno-Fizyczno-Technicznym Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Inspiracją do ich rozpoczęcia były prace zespołu Adriana Madsena oraz jego współpracowników z *Cansas State*

University, który m. in. zajmował się rozpoznawaniem różnic w strategiach rozwiązywania zadań fizycznych przez ekspertów oraz nowicjuszy [Mads2012].

### 1. Biofizyka eye-trackingu

Naszą ludzką egzystencję a także naszą dotychczasową wiedzę o świecie zawdzięczamy zmysłom. Już w podręcznikach przyrody w szkole podstawowej zwracamy uwagę dzieciom na to, że człowiek komunikuje się ze światem za pośrednictwem zmysłu wzroku, słuchu, smaku, węchu i dotyku. Zmysły to nasze „okno na świat”. Najwięcej informacji z otoczenia dociera do naszego mózgu za pomocą zmysłu wzroku. Szacuje się, że spośród wszystkich zmysłów człowieka, oczy odbierają około 80% bodźców [Biec2014; Oziem2013; Zają2003].



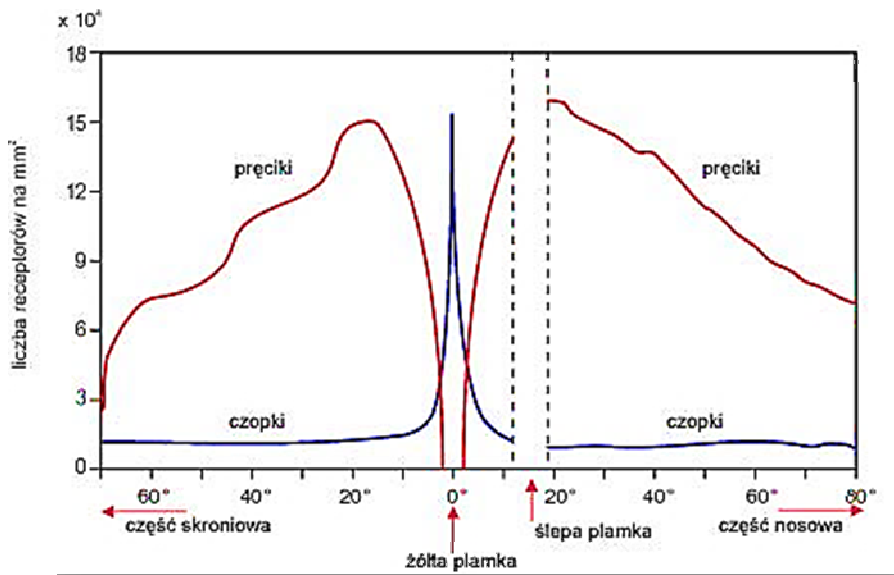
Rysunek 1. Porównanie percepcji otoczenia przez poszczególne zmysły u człowieka. Źródło: Przemysław Oziembowski, Technika świetlna od podstaw: [www.swiatlo.tak.pl](http://www.swiatlo.tak.pl) [Oziem2013] za zgodą autora.

Uczenie się, w tym także uczenie się przedmiotów przyrodniczych, jest w ogromnej mierze związane z percepcją oraz przetwarzaniem bodźców docierających do nas z otoczenia, dlatego większość naszych ostatnich projektów badawczych skupia się na badaniu aktywności oczu uczniów i studentów w trakcie rozwiązywania zadań [Błas2013, Błas2014].

Na siatkówce oka mamy około 4 600 000 czopków (*cones*) reagujących na barwy oraz około 92 000 000 pręcików (*rods*), które nie są czułe na barwy, ale reagują na intensywność oświetlenia [Fran2013]. Razem mamy około

100 000 000 receptorów światłoczułych. Ich rozmieszczenie nie jest jednak jednorodne, jak np. w kamerze CCD aparatu fotograficznego. Rozkład czopków i pręcików na siatkówce jest wysoce niejednorodny (rys. 2). Największa gęstość powierzchniowa czopków jest w centralnym obszarze siatkówki zwanym żółtą plamką. Ma ona kształt elipsy o powierzchni zaledwie ok.  $2.4 \text{ mm}^2$ , a gęstość upakowania czopków w tym obszarze dochodzi do 20 000 na  $\text{mm}^2$ . W części środkowej żółtej plamki oka, zwanej dołkiem centralnym (*fovea*) o powierzchni ok.  $1 \text{ mm}^2$ , gęstość pręcików osiąga rekordową wartość dochodzącą do 324 000  $\text{mm}^2$  [Franc2013]. Gdyby udało się skonstruować matrycę CCD o takiej gęstości pikseli, to dla powierzchni  $12 \text{ cm}^2$  byłoby wówczas około 390 MP.

Dlaczego ten rozkład elementów światłoczułych w naszym oku różni się od rozkładu pikseli w kamerze CCD? Dlaczego ewolucja doprowadziła do powstania właśnie takiego rozkładu fotoreceptorów na siatkówce ludzkiego oka? Dlaczego liczba pręcików jest ok. 20 razy większa od liczby czopków?



Rysunek 2. Średnia gęstość występowania czopków i pręcików na powierzchni oka siatkówki. Domena publiczna.

Źródło: [http://www.swiatlo.tak.pl/1/index.php/zasada\\_dzialania\\_oka-proces-widzenia/](http://www.swiatlo.tak.pl/1/index.php/zasada_dzialania_oka-proces-widzenia/)

Gdyby gęstość powierzchniowa rozkładu światłoczułych receptorów na całej siatkówce oka była taka jak w obszarze dołka centralnego, wówczas grubość wiązki nerwu wzrokowego, wyprowadzającego impulsy elektryczne z fotorecep-

torów, miałyby grubość porównywalną z grubością przedramienia na poziomie nadgarstka [Ober2009]. Na taki kaprys ewolucja nie mogła sobie pozwolić. Dominująca liczba pręcików, w porównaniu z czopkami, jest najprawdopodobniej reliktem ewolucji i świadczy o możliwościach nocnej aktywności naszych przodków.

W miejscach gdzie znajduje się najwięcej czopków, powstają najbardziej ostre obrazy w naszym oku. Dołek centralny jest największym skarbem oka. Stanowi 0.1% powierzchni siatkówki, a zawiera ponad 12% wszystkich czopków [Franc2013]. Obszar żółtej plamki z dołkiem centralnym dostarcza do mózgu najbardziej precyzyjne obrazy świata. Można powiedzieć, używając znanej metafory Richarda Dawkinsa, że nasze oczy pierwszorzędnie korzystają z efektów pracy „ślepego zegarmistrza” [Dawk94].

Od 1879 roku wiemy z prac profesora Sorbony Emila Javala, że nasze oczy nie rejestrują obrazów w sposób ciągły, lecz poruszają się (dzięki trzem parom mięśni) w sposób skokowy [Jaw1879]. Zatrzymanie gałki ocznej na czas około 200 ms, zwane **fiksacją**, powoduje wytworzenie ostrego obrazu na siatkówce. Obraz w obszarze plamki żółtej jest niewielkim wycinkiem kołowym realnego świata o rozmiarach porównywalnych z powierzchnią widzianą przez otwór wielkości pięciocztowej monety trzymanej przez człowieka w sposób pokazany na rys. 3.



Rysunek 3. Ilustracja obrazująca wielkość pola powierzchni charakterystycznego dla typowej fiksacji. Źródło: fot. W. Błasiak

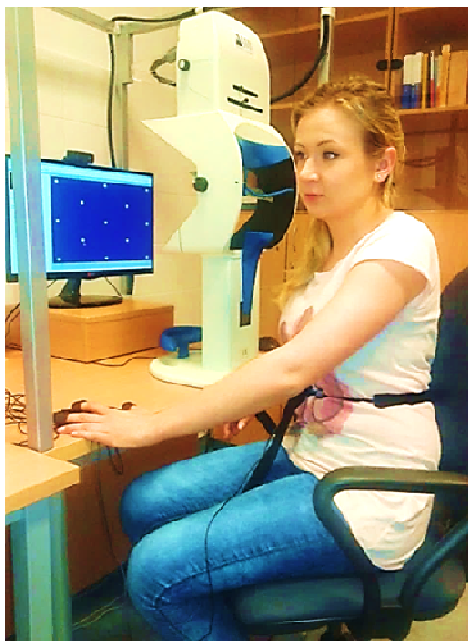
Po fiksacji następuje bardzo szybkie „przeniesienie” spojrzenia na inny obszar oglądanej rzeczywistości, zwane **sakadą**. O tym, jaki ma być kolejny fragment oglądanej rzeczywistości decyduje mózg na podstawie dostępnej mu wiedzy. „Przeniesienie” spojrzenia na inny obszar jest bezpośrednio spowodowane trudnym do zauważenia, ruchem obrotowym gałki ocznej. Przekierowanie pola widzenia o jeden stopień kątowy (przy stałej pozycji głowy) jest związane z przemieszczeniem powierzchni gałki oka zaledwie o około 0.2 mm. Maksymalna szybkość sakady osiąga 500 stopni kątowych na jedną sekundę [Ober2009]. Potem mamy następną fiksację, kolejną sakadę, następną fiksację itd. O wyborze kolejnych pozycji fiksacji decydują korowe ośrodki decyzyjne naszego mózgu. W czasie jednej sekundy można zarejestrować średnio kilka fiksacji. Ich czas trwania jest rzędu 200 – 250 ms. Średni czas trwania sakad jest o jeden rząd wielkości mniejszy.

Nasz mózg składa obraz świata z tych „kwantowych”, niewielkich, ale ważnych dla nas w tym czasie fragmentów rzeczywistości. Twoje oko, szanowny Czytelniku, wykonuje w ciągu jednego dnia, około ćwierć miliona fiksacji i tyleż samo sakad (więcej od liczby włosów na głowie). To jedna z najbardziej zadziwiających cech systemu mózgowej percepcji obrazu, wymykająca się ludzkiej świadomości.

## **2. Eye-tracking – opis techniki i metody pomiaru**

Istnieje wiele metod badania aktywności oka. Począwszy od układów mechanicznych, montowanych w znieczuleniu na powierzchni rogówki [Ober2009], po fotoelektryczne techniki rejestracji światła odbitego od rogówki. Jedną z bardziej precyzyjnych metod inwazyjnych jest pomiar napięcia indukowanego w cewce znajdującej się w zewnętrznym polu magnetycznym, wywołanego ruchem oka. Do tego celu stosowano pętle indukcyjne zatopione w soczewce kontaktowej nałożonej na oko. W latach czterdziestych XX w. opracowano bardzo precyzyjne, nieinwazyjne techniki refleksyjne polegające na badaniu zmian intensywności strumienia podczerwieni odbitego od obszarów rogówki oraz tęczówki oka. Współcześnie stosuje się wideookulograficzne metody mieszane polegające na rejestracji w podczerwieni zmian położenia źrenicy oraz refleksu Purkiniego (corneal reflex). Kamery o wysokiej rozdzielczości, rejestrują względne położenie źrenicy oraz refleksu, a szybki komputer analizuje zmiany położenia oka (wideookulografia).

W naszej pracowni stosujemy eye-tracker iViewX™Hi-Speed1250. W ostatnich eksperymentach dokonywano pomiaru z częstotliwością 500 Hz. Oznacza to, że w czasie jednej sekundy dokonywano 500 pomiarów położenia pozycji oka badanej osoby (współrzędnej X oraz Y na ekranie monitora), szerokości źrenicy oka oraz parametrów opisujących poszczególne fiksacje oraz sakady.



Rysunek 4. W trakcie badań w naszym laboratorium. Eye-tracker™ Hi-Speed 1250, iView X™.

W trakcie pomiaru głowa badanej osoby jest w bezruchu, co z jednej strony jest pewnym utrudnieniem, ale za to pozwala na dokonywanie bardzo precyzyjnych pomiarów z niepewnością położenia nieprzekraczającą  $0.01^{\circ}$ . Z naszych doświadczeń wynika, że urządzenie to jest stosunkowo łatwe w kalibracji, aczkolwiek w niektórych przypadkach (około 10% liczby badanych) rejestrowaliśmy zakłócenia związane ze stosowaniem tuszu do rzes oraz noszeniem okularów i szkieł kontaktowych przez badane osoby.

Przed przystąpieniem do eksperymentów przygotowaliśmy serię zadań testowych z fizyki, matematyki, informatyki i biologii. Każde zadanie było dopasowane do badanej grupy (uczniowie różnych typów szkół, studenci i doktoranci). W trakcie badania zadania były prezentowane badanym osobom w takich samych warunkach (temperatura, oświetlenie), bez ograniczeń czasowych. Ostatnie eksperymenty zostały wzbogacone o dodatkowe badania ankietowe przeprowadzone przed oraz po badaniu eye-trackingowym. Standardowo pytaliśmy badanych o ich zainteresowania fizyką, matematyką oraz informatyką, a po eksperymencie o ich subiektywne odczucia dotyczące rozwiązywanych zadań.

Oprogramowanie o nazwie BeGaze™ 2.4 umożliwia wizualizację wyników badanych osób w postaci tzw. indywidualnych oraz zbiorowych map termalnych (*heat map*), wykresów czasowych aktywności oka (*gazeplot*), wskaźników aktyw-

ności oczu badanej osoby (*key performance indicators*) na wybranych obszarach ekranu prezentującego treść zadania (*areas of interests*), czy też wykresu typu tzw. „AOI Sequence Chart”, który przedstawia precyzyjnie (z dokładnością do kilku milisekund) kolejność aktywności oczu badanej osoby na poszczególnych partiach analizowanego obrazu (AOI). W dalszej części pracy zostaną pokazane przykłady takiej wizualizacji.

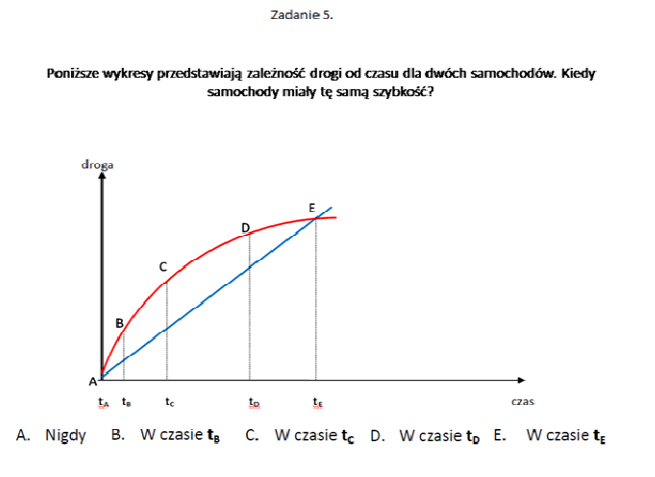
Urządzenie dostarcza także informacji na temat dużej liczby parametrów istotnych dla wszechstronnej oceny aktywności mózgowej badanej osoby. Wymienimy kilka z nich: całkowity czas rozwiązywania zadania (*dwell time*), liczba mrugnięć powieki oka (*blink count*), liczba fiksacji (*fixation count*), częstotliwość fiksacji (*fixation frequency*), całkowity czas fixacji (*fixation total*), średni czas fiksacji (*fixation duration average*), średnia wartość dyspersji fiksacji (*fixation dispersion average*), długość ścieżki wzrokowej (*scanpath length*), liczbę sakad (*saccade count*), prędkość sakad (*saccade velocity*), średnia wartość prędkości sakad (*saccade velocity average*), opóźnienie sakadyczne (*saccade latency*) i wiele innych.

### 3. Przykładowe wyniki przeprowadzonych badań

Wybitny badacz pułapek myślenia Daniel Kahneman (Nagroda Banku Szwecji im. Alfreda Nobla w dziedzinie ekonomii w 2002 roku) uważa, że w podejmowaniu decyzji ludzki umysł stosuje dwie skrajnie różne strategie. Pierwszą przypisuje umownie działaniu szybkiego mózgowego **Systemu 1**, zaś drugą uważnemu i dokładnemu **Systemowi 2**. Ten podział nie jest odzwierciedleniem budowy mózgu, lecz tylko uproszczonym sposobem opisu podejmowania decyzji. „System 1 działa w sposób szybki i automatyczny, bez wysiłku lub z niewielkim wysiłkiem, nie mamy przy nim świadomości kontroli podejmowanych decyzji. System 2 rozdziela niezbędną uwagę pomiędzy działania wymagające umysłowego wysiłku, takie jak np. skomplikowane obliczenia. Działanie Systemu 2 często wiąże się z subiektywnym poczuciem skupienia, swobodnego wyboru i świadomego działania” [Kahn2012]. Większość błędów poznawczych związana jest z działaniem podświadomego Systemu 1. Często podejmuje on ważne decyzje na podstawie minimalnej ilości informacji. System 2 wymaga znacznie więcej wysiłku umysłowego niż System 1. Kahneman uważa, że nasz umysłowy, szybki ale leniwy System 1 ma tendencję do udzielania odpowiedzi intuicyjnych, nie wynikających z analizy merytorycznej, tylko z innych bodźców, które dominują naszą uwagę [Błas2014].

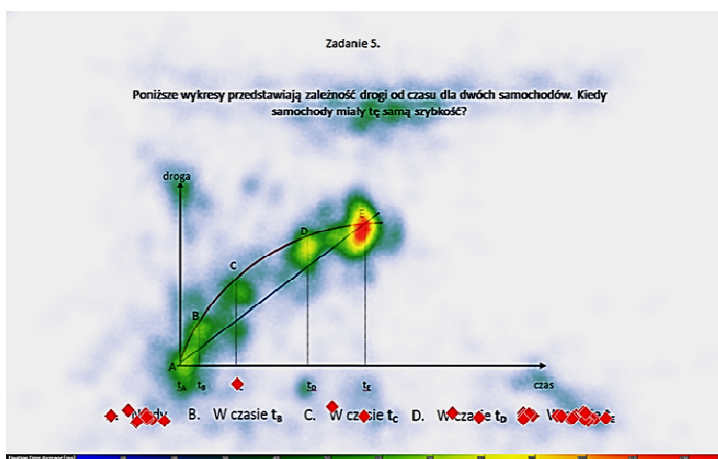
#### 3.1. Badanie atraktorów wzrokowych w graficznych zadaniach testowych u uczniów oraz studentów

W zadaniach graficznych istnieją takie atraktory percepcji wizualnej, które są przyczyną popełniania błędów przez nowicjuszy. Do takich należą np. linie przecięcia wykresów. Na rysunku 5 pokazano tekst jednego z naszych zadań z badań przeprowadzonych w 2012 roku.



Rysunek 5. Jedno z naszych zadań. Eksperyment z roku 2012.

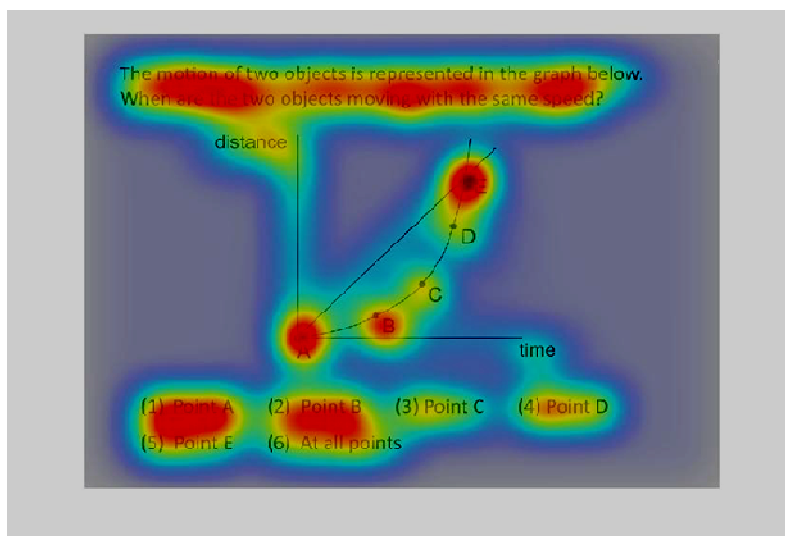
Badanych poproszono o wskazanie czasu, w którym szybkości chwilowe (wartości prędkości) dwóch pojazdów były takie same. Poprawną była odpowiedź C. Uczniowie liceum ogólnokształcącego najczęściej wybierali odpowiedź E, prawdopodobnie zasugerowaną przecięciem linii, natomiast eksperci (doktoranci fizyki) wskazywali odpowiedź C. Posługując się terminologią Kahnemana, można powiedzieć, że u nowicjuszy wygrywał System 1. Na rys. 6 pokazano mapę aktywności ich oczu.



Rysunek 6. Mapy aktywności oczu studentów w trakcie rozwiązywania zadania.



Jest wysoce prawdopodobne, że dla osób o słabym przygotowaniu merytorycznym te atraktory wizualne sterują ich podświadomymi decyzjami. Rys. 7 przedstawia „heatmapę” z podobnych badań Madsena [Mads2014].



Rysunek 7. Mapy aktywności oczu studentów w trakcie rozwiązywania zadania.

Źródło: [Mads2014].

Gdy patrzymy na osoby znajdujące się w naszym otoczeniu, wówczas najmocniejszym atraktorem dla naszych oczu są ludzkie twarze. Na wykresach takimi atraktorami są punkty przecięcia wykresów (rys. 6 oraz 7).

### 3.2. Badanie naturalnej skłonności naszych uczniów do „umysłowego lenistwa”

Skłonienie mózgu do wysiłku nie jest sprawą łatwą. Ukształtowany ewolucyjnie umysł ma tendencję do oszczędzania energii i nie jest skory do nadmiernego wysiłku. Przytoczymy niżej dwa przykładowe zadania Daniela Kahnemana, którymi testował on swoich studentów na Uniwersytecie Princeton [Kahn2012].

Zad. 1. Jeśli 5 maszyn w ciągu 5 minut produkuje 5 urządzeń, to ile czasu zajmuje 100 maszynom wyprodukowanie 100 urządzeń?

Zad. 2. Na stawie rozrasta się kępa lilii wodnych. Codziennie kępa staje się dwukrotnie większa. Jeśli zarośnięcie całego stawu zajmie liliom 48 dni, to ile dni potrzeba, żeby zarosły połowę stawu? 24 dni czy 47 dni?

Na 40 studentów Uniwersytetu w Princeton 90% popełniło co najmniej 1 błąd. Gdy zadania wydrukowano małą czcionką (ledwo czytelnie) odsetek ten

spadł do 30%. To zaskakujący efekt. Będziemy go sprawdzać w przyszłych eksperymentach.

Niżej podajemy przykład jednego z kilkunastu zadań naszego ostatniego eksperymentu eye-trackingowego (czerwiec 2014). Zadanie to zostało wybrane do testowania koncepcji Kahnemana dotyczącej szybkiego i wolnego myślenia przy rozwiązywaniu zadań z fizyki.

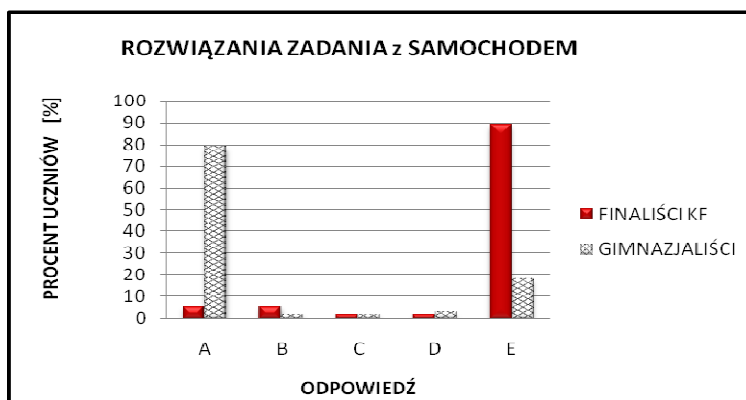
Samochód poruszał się ruchem przyspieszonym. Po każdej sekundzie jazdy jego szybkość (wartość prędkości) stawała się dwukrotnie większa. Jeśli uzyskanie szybkości 200 km/godz. zajęło mu 10 sekund, to po ilu sekundach jego szybkość wynosiła 100 km/godz?



- |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| A.     | B.     | C.     | D.     | E.     |
| 5 sek. | 6 sek. | 7 sek. | 8 sek. | 9 sek. |

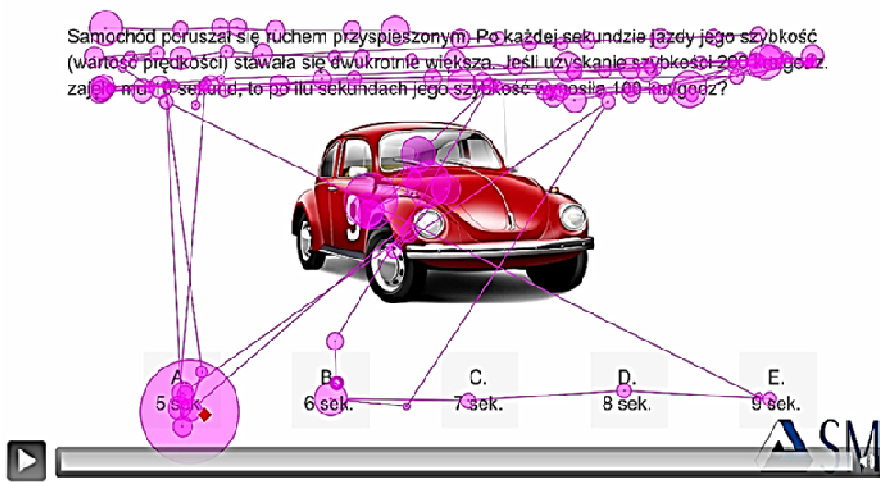
Rysunek 8. Tekst zadania widoczny na ekranie monitora.

Histogram na rys. 9 prezentuje rozkłady odpowiedzi udzielone przez 34 uczniów przeciętnych trzecich klas gimnazjalnych oraz 18 uczniów klas trzecich, którzy byli finalistami Krakowskiego Konkursu Fizycznego.

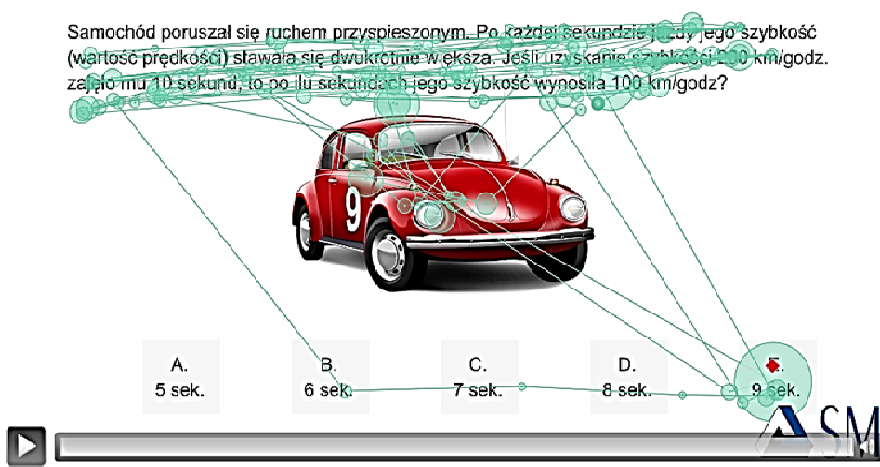


Rysunek 9. Rozkład odpowiedzi uczniów.

Na rys. 10 oraz 11 prezentujemy gazeploty dwóch wybranych uczniów (ucznia przeciętnego oraz uczestnika KKF). Powierzchnie kół obrazujących fikсации są proporcjonalne do czasów fikсации.



Rysunek 10. Gazeplot przeciętnego ucznia.



Rysunek 11. Gazeplot uczestnika Krakowskiego Konkursu Fizycznego.

Stosowane przez nas oprogramowanie pozwala na wyodrębnienie z analizowanego obrazu obszarów, które mogą być interesujące do szczegółowej anali-

zy procesu myślenia badanej osoby. Rys. 12 przedstawia jedną z takich prób dla zadania z samochodem.

Samochód poruszał się ruchem przyspieszonym. Po każdej sekundzie jazdy jego szybkość (wartość prędkości) **AOI 009** **AOI 001** **AOI 002** słabła się **AOI 003**. Jeśli uzyskanie szybkości 200 km/godz. zajęło mu 10 sekund, to po ilu sekundach jego szybkość wynosiła 100 km/godz?



A. **AOI 004**  
5 sek.

B. **AOI 005**  
6 sek.

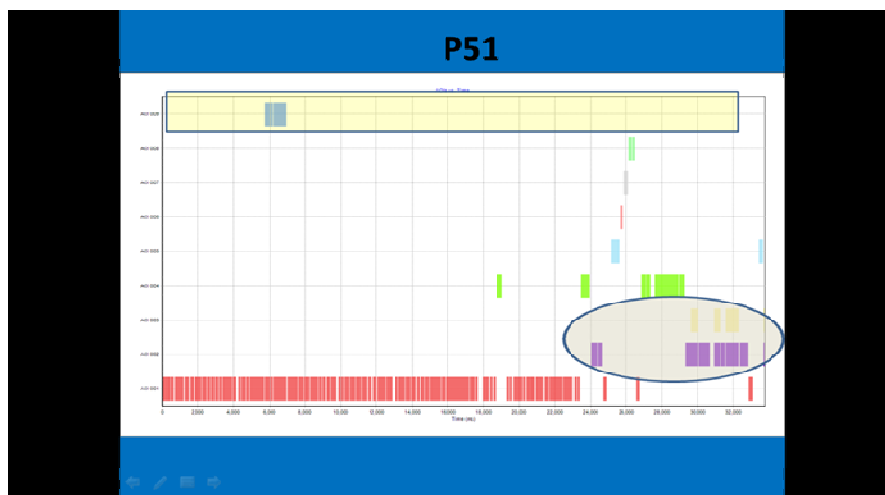
C. **AOI 005**  
7 sek.

D. **AOI 007**  
8 sek.

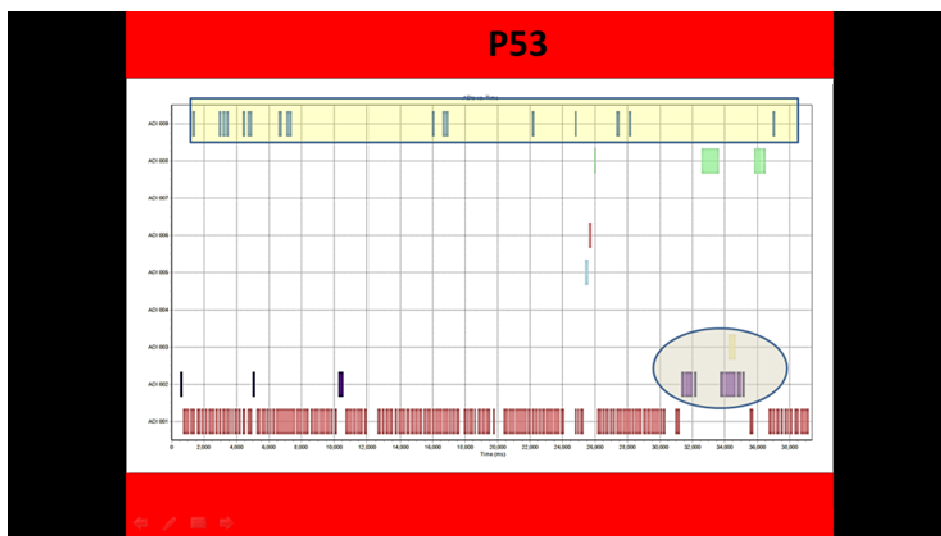
E. **AOI 008**  
9 sek.

Rysunek 12. Przykład definiowania „area of interest” (AOI).

Na rys. 13 oraz 14 pokazano „AOI Sequence Chart”, czyli rozkład czasowej aktywności oczu dwóch badanych uczniów w zdefiniowanych wcześniej obszarach zadania.



Rysunek 13. „AOI Sequence Chart” dla jednego z gimnazjalistów.



Rysunek 14. „AOI Sequence Chart” dla jednego z uczestników Krakowskiego Konkursu Fizycznego.

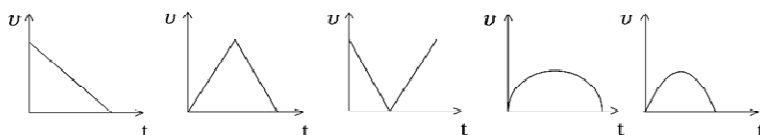
Pozyskane tą drogą informacje zostaną wykorzystane do analizy mankamentów szkolnej edukacji i doskonalenia metodyki rozwiązywania zadań oraz konstruowania testów lepiej sprawdzających rozumienie fizyki.

### 3.3. Okulograficzne badania różnic w rozwiązywaniu zadań przez nowicjuszy i studentów [Błas2014]

Porównanie charakterystycznych sposobów pracy ekspertów z pracą nowicjuszy wydaje się być obiecującym sposobem doskonalenia metod nauczania w tych dziedzinach, które uważane są powszechnie za trudne. Niżej przedstawiamy różnice w sposobie patrzenia na tekst zadania (test wyboru) przez grupę 62 studentów (55 studentów informatyki i 7 studentów matematyki) oraz 13 ekspertów (9 doktorantów fizyki, 3 osoby ze stopniem doktora i jedna doktora habilitowanego).

Zadaniem badanych było wskazanie wykresu, który poprawnie opisuje zależność wartości prędkości od czasu dla rzuconego do góry kamienia (rys. 15). W górnej części ekranu znajdowała się treść zadania, a w dolnej pięć możliwych odpowiedzi, z których tylko jedna była prawidłowa. Poprawny wykres znajdował się w pozycji środkowej na dole.

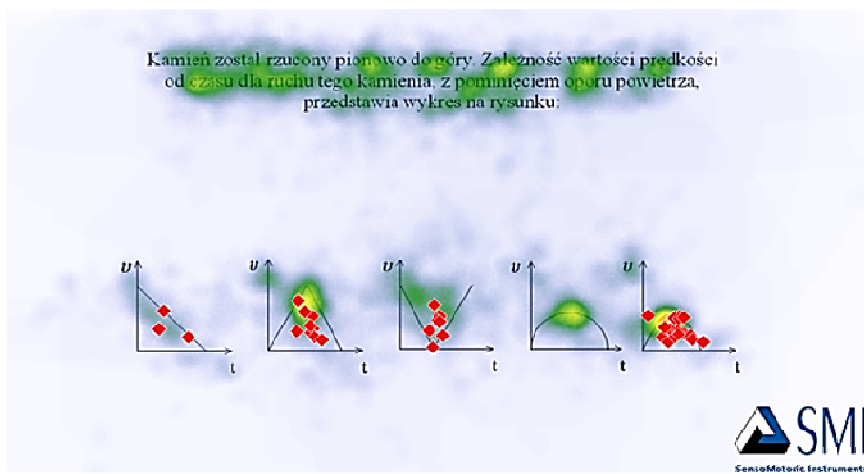
Kamień został rzucony pionowo do góry. Zależność wartości prędkości od czasu dla ruchu tego kamienia, z pominięciem oporu powietrza, przedstawia wykres na rysunku:



Rysunek 15. Przykładowe zadanie.

Na poniższych rysunkach prezentujemy mapy aktywności oczu dla studentów oraz ekspertów.

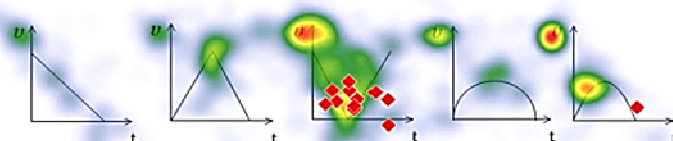
## Studenci



Rysunek 16. Mapy aktywności oczu studentów w trakcie rozwiązywania zadania.

## Eksperci

Kamień został rzucony pionowo do góry. Zależność wartości prędkości od czasu dla ruchu tego kamienia, z pominięciem oporu powietrza, przedstawia wykres na rysunku.



Rysunek 17. Mapa aktywności oczu studentów w trakcie rozwiązywania zadania.

Ponad 92% ekspertów rozwiązało zadanie poprawnie. Odpowiedzi studentów (w większości informatyki) były prawie idealnie losowe (22 procent odpowiedzi poprawnych). Świadczy to o niskiej efektywności edukacji fizycznej w polskiej szkole. Wyraźnie widać także, że badanym studentom brakuje elementarnej umiejętności odczytywania zależności graficznych. W przeciwieństwie do ekspertów, nie zadali sobie nawet trudu uważnego odczytywania opisu osi na prezentowanych wykresach (rys. 4). Najprawdopodobniej zgubił ich nadmierny pośpiech w podejmowaniu decyzji. Można przypuszczać, że jest to dominacja **Systemu 1** nad **Systemem 2**. W świecie, w którym coraz intensywniej posługujemy się komunikacją graficzną (mapy, plany, wykresy giełdowe, itp.) jest to sygnał zwracający uwagę na bardzo poważne mankamenty edukacyjne naszego systemu nauczania.

### 4. Co dalej?

W najbliższym czasie planujemy kolejne eksperymenty. Zamiast zakończenia przedstawimy niżej kilka tematów badawczych, które są przedmiotem zainteresowania interdyscyplinarnej GBDK UP w Krakowie.

- Poszukiwanie charakterystycznych parametrów fizjologicznych będących wskaźnikami predyspozycji do pracy naukowej (czas latencji, prędkość saka-dyczna, czas fiksacji oka itp.).

- Badanie różnic percepcji u ekspertów i nowicjuszy.
- Badanie strategii rozwiązywania testów (pojedynczego i wielokrotnego) wyboru.
- Badanie różnic pomiędzy aktywnością oczu, a odpowiedziami słownymi (tym, co „mówią” oczy i usta).
- Badanie emocji w trakcie oglądania różnych obrazów i ilustracji w podręcznikach fizyki, informatyki, matematyki.
- Badanie nieprzyjaznych i szkodliwych atraktorów wizualnych w podręcznikach informatyki, matematyki, fizyki.
- Badanie strategii czytania tekstu fizycznego/matematycznego przez uczniów (zależność od wieku ucznia, płci, tematyki tekstu, atrakcyjności graficznej itp.).
- Badanie wpływu emocji na efektywność rozwiązywania zadań o różnym stopniu trudności.
- Badanie szybkości czytania różnych terminów fizycznych.
- Badanie korelacji pomiędzy czasami latencji a sprawnością rozwiązywania zadań.

W laboratorium GBDK stosujemy równolegle dodatkowe metody wspomagające badania eye-trackingowe, takie jak: personal response system (klikersy), sakadometria, pupilometria, pomiar przewodności elektrodermalnej, face reading, pomiary EEG oraz EKG [Błas2012a], [Błas2012b], [Błas2013a], [Błas2013b], [Błas2014]. Ich opis wykracza poza ramy tej pracy.

Żywimy nadzieję, że kompleksowe, ilościowe oraz nieinwazyjne badania pomogą nam lepiej zrozumieć mózgowy mechanizm uczenia się tych przedmiotów, które w powszechnej opinii uczniów uważane są za trudne.

### **Bibliografia**

- [Biec2014] Bieчек P., *Odkrywać! Ujawniać! Objaśniać! Zbiór esejów o sztuce prezentowania danych*, Fundacja Naukowa SmarterPoland.pl, Warszawa 2014.
- [Błas2012a] Błasiak, W., Godlewska, M., Wcisło, D., Rosiek R., *Spectrum of physics comprehension*. European Journal of Physics, no. 33, 2012.
- [Błas2012b] Błasiak, W., *Rozważania o nauczaniu przyrody*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego Kraków 2011.
- [Błas2013a] Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R., Wcisło D., *Eye tracking. New experimental possibilities in educational research*, DIDRFYZ 2012, Physics Teaching in Reformed System of Education, Nitra 2013.
- [Błas2013b] Błasiak, W., Godlewska, M., Rosiek, R., Wcisło, D., *Nowe technologie w badaniach edukacyjnych*. W: Morbitzer, J. (red.), *Człowiek, media, edukacja*, Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków 2013
- [Błas2014] Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R., Wcisło D., *Od Daniela Kahnemana do dydaktyki kognitywnej*, Zeszyty Naukowe WMSE w Tarnowie, t. 36, 2014, str. 23-34.



- [Dawk1994] Dawkins R., *Ślepy zegarmistrz*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1994.
- [Duch2007] Duchowski A., *Eye tracking methodology. Theory and Practice* (2nd. ed., pp. 142-162): Springer, London 2007.
- [Franc2013] Francuz P., *IMAGIA. W kierunku neurokognitywnej teorii obrazu*, Wydawnictwo KUL. Lublin 2013 .
- [Java1879] Javal E., *Essai sur la physiologie de la lecture*, Annales d'Oculometrie 82, 1879.
- [Kahn2012] Kahneman, D., *Pułapki myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym*, Media Rodzina, Poznań 2012.
- [Lai2012] Lai, M. L., Tsai, M. J., Yang, F. Y., Hsu, C. Y., Liu, T. C., Lee, S. W. Y., Lee, M. H., Chiou, G. L., Liang, J. C., & Tai, C. C. (2013). *A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012*. Educational Research Review, 10, pp. 90-115.
- [Mads2012] 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 no. 8, pp. 1-13.
- [Ober2009] Ober J., Dylak J., Gryniewicz W., Przedpelska-Ober E., *Sakkadometria – nowe możliwości oceny stanu czynnościowego układu nerwowego*, Nauka 4/2009.
- [Oziem2013] [www.swiatlo.tak.pl](http://www.swiatlo.tak.pl)
- [Zają2003] Zając M., *Optyka okularowa*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003.