

**Władysław Błasiak**  
**wblasiak@up.krakow.pl**  
**Małgorzata Godlewska**  
**malgodle@up.krakow.pl**  
**Roman Rosiek**  
**rosiek@up.krakow.pl**  
**Dariusz Wcisło**  
**dwcislo@up.krakow.pl**  
**Zakład Dydaktyki Fizyki**  
**Instytut Fizyki**  
**Uniwersytet Pedagogiczny**  
**Kraków**

## **Nowe technologie w badaniach edukacyjnych**

### **Wstęp**

Dynamiczny rozwój technologii informacyjnej, elektroniki oraz zastosowanie tych osiągnięć w dziedzinie edukacji, pozwalają na znacząco poprawę komunikacji ucznia z nauczycielem, studenta z wykładowcą. Proces nauczania staje się interaktywny. Wykładowca posiada dodatkowe możliwości pozyskiwania większej ilości informacji na temat stopnia percepcji, motywacji, a także emocji słuchaczy, często nawet w czasie rzeczywistym, tzn. w czasie trwania lekcji bądź wykładu. Interaktywne systemy wspomagające nauczanie stają się coraz bardziej popularne, coraz częściej stosowane są nie tylko w praktyce uniwersyteckiej, ale także w nauczaniu szkolnym.

W dalszej części opracowania zostaną przedstawione systemy PRS (*personal response systems*) oraz metody rozszerzania tych systemów o aplikacje urządzeń monitorujących parametry psychofizjologiczne ucznia/studenta. Systemy te dostarczają informację o stopniu zainteresowania wykładem oraz motywacji do przyswajania wiedzy, pomagają określić poziom stresu oraz zmiany stopnia koncentracji uwagi w trakcie trwania procesu nauczania. Staramy się, aby już w niedalekiej przyszłości mogły stać się dodatkowymi wskaźnikami dla wykładowcy, służącymi optymalizacji oraz modyfikacji scenariusza wykładu bądź lekcji w taki sposób, by zapewnić możliwie najwyższy stopień przyswojenia przekazywanych treści. Przedstawimy również opis i możliwości wykorzystania eyetrackingu, sakkadometrii oraz badań obejmujących monitorowanie zmian przewodności elektrodermalnej (EDA), rytmu serca (EKG, HRV), systemu krążenia (BVP), oddechu (Resp), zmian temperatury ciała (Temp) oraz mięśni twarzy (EMG) w procesie dydaktycznym. Przedstawimy techniki badań stosowane przez nasz zespół (Zakład Dydaktyki Fizyki, IF, UP w Krakowie) oraz niektóre uzyskane przez nas wyniki.

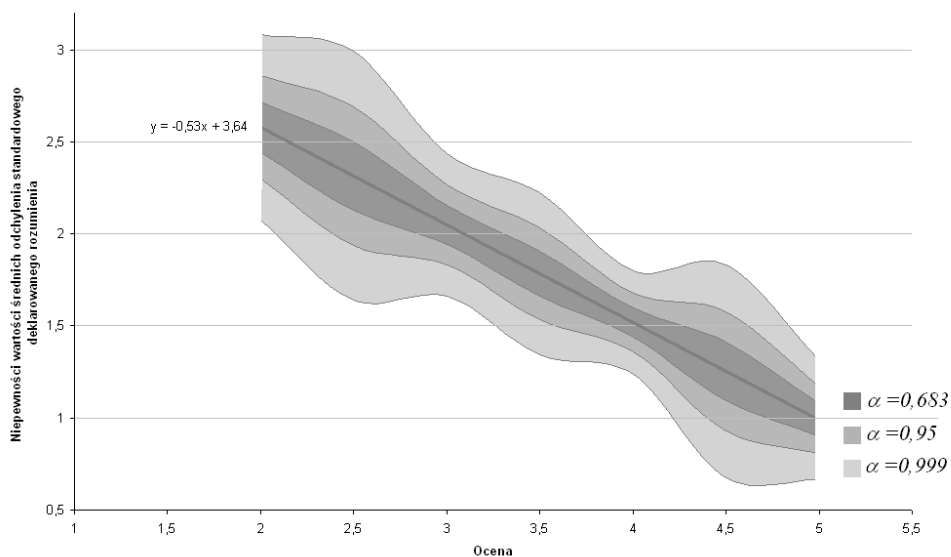
**Systemy PRS**, czyli interaktywne systemy do głosowania, często nazywane klikersami, stają się coraz bardziej powszechne w użyciu. Zapewniają wykładowcy pozyskiwanie na drodze elektronicznej komunikacji informacji zwrotnej na temat stopnia rozumienia przekazywanych treści. Pozwalają one również na otrzymywanie odpowiedzi

na pytania o charakterze ankietowym, które weryfikują poziom rozumienia tychże treści. Bardzo dużą zaletą systemu, docenianą przez studentów, jest anonimowość udzielanych odpowiedzi oraz taka forma ich akwizycji, która nie zaburza toku wykładu. Obecnie na rynku oferowanych jest wiele wersji systemów umożliwiających przeprowadzanie testów oraz ankiet w bardzo licznych grupach. Na potrzeby naszych badań zaprojektowaliśmy i wykonaliśmy własne urządzenia, które w odróżnieniu od powszechnie dostępnych zestawów umożliwiają ciągły zapis deklarowanego poziomu rozumienia w trakcie trwania badania.



Rys. 1. Powszechnie dostępne systemy PRS

Prowadzone przez nasz zespół wieloletnie badania z zastosowaniem systemów PRS wykazują bardzo dużą dyspersję deklarowanego, subiektywnego poziomu rozumienia wykładu oraz brak istotnych korelacji pomiędzy ocenami uzyskiwanymi z przedmiotu a deklarowanym poziomem rozumienia. Wydaje się istotnym spostrzeżenie, iż analiza zmian wartości odchylenia standardowego deklarowanych zarówno przez uczniów, jak i studentów wartości rozumienia, pozwala identyfikować te osoby, które wymagają dodatkowej pomocy. Rys. 2 przedstawia taką zależność dla badanej grupy uczniów gimnazjum.



Rys. 2. Wykres zależności pomiędzy odchyleniem standardowym deklarowanego rozumienia a uzyskiwanymi ocenami z fizyki dla uczniów gimnazjum [Błasiak, Godlewska, Rosiek, Wcisło, 2012, s. 565-571]

Z praktycznego punktu widzenia najważniejszą zaletą systemu jest możliwość przeprowadzania bardzo szybkich pomiarów dydaktycznych obejmujących rejestrowanie poziomu deklarowanego rozumienia oraz sprawdziany wiadomości, których wyniki pozwalają na natychmiastową korektę scenariuszy prowadzonych zajęć. Stosowanie zestawu ułatwia indywidualizację nauczania oraz dostosowanie tempa nauczania do możliwości odbiorców [Błasiak, Godlewska, Rosiek, 2009, s. 45-51].

Nasze wieloletnie badania wykazują potrzebę dalszej wnikliwej analizy przyczyn niskiego zainteresowania uczniów fizyką oraz bardzo dużej dyspersji i szybkości zmian deklarowanych wartości rozumienia przekazywanych treści. Podstawowym wnioskiem wynikającym z analizy zarejestrowanych przez nas danych jest potrzeba rozszerzenia badań, podjęcie prób korelacji subiektywnych i deklarowanych wartości rozumienia z takimi wielkościami jak poziom motywacji uczniów/studentów, poziom ich zainteresowania, koncentracja uwagi, poziom stresu. Aby pozyskiwać takie informacje w czasie rzeczywistym, w sposób inny niż deklaracyjny, należy rozszerzyć badania o metody psychofizjologiczne. W tym celu w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie powstała Pracownia Neurodydaktyki. Od roku podejmujemy próby realizacji badań dydaktycznych wykorzystujących metody psychofizjologiczne, bazujące na nieinwazyjnych systemach monitorowania naszych uczniów i studentów w trakcie realizacji zadań oraz uczenia się. W naszych badaniach staramy się uwzględniać wzajemną zależność emocji, zmian świadomości oraz sposobów zachowania z funkcjonowaniem mózgu, układu krążenia, oddychania poprzez rejestrację oraz analizę zmian parametrów

fizjologicznych u osób badanych. W dalszej części opracowania omówimy podstawowe metody badawcze stosowane w neurodydaktyce.

## Okulografia – eyetracking

Istnieje wiele metod badania aktywności oka. Począwszy od układów mechanicznych montowanych w znieczuleniu na powierzchni rogówki [Metody psychofizjologiczne..., 1993], po fotoelektryczne techniki rejestracji. W latach czterdziestych XX w. opracowano techniki refleksyjne polegające na badaniu zmian intensywności strumienia podczerwieni odbitego od rogówki [Ober, 2000]. W metodzie tej stosuje się współcześnie kamerę o wysokiej rozdzielczości wraz z oprogramowaniem, która analizuje zmiany położenia gałki ocznej (wideookulografia). Współczesne systemy analizy ruchu oka, nazywane często eyetrackerami, odznaczają się doskonałymi parametrami technicznymi, które dają duże możliwości poznawcze.

Z punktu widzenia dydaktyki, eyetracking jest bardzo istotnym rozszerzeniem metod badawczych. Umożliwia on śledzenie i rejestrowanie sposobów analizy zadań, wykresów, strategii wyboru odpowiedzi podczas rozwiązywania zadań testowych oraz poszukiwanie typowych popełnianych w tym czasie błędów. Wykorzystanie eyetrackera daje możliwość pomiaru zmian szerokości źrenicy oka, które możemy rejestrować i korelować z subiektywną oceną trudności zadań [Metody psychofizjologiczne..., 1993], obciążeniem poznawczym oraz emocjami.



Rys. 3. Eyetracker SMI RED 250, który wykorzystano podczas badań w ZD IF

**Aktywność elektrodermalna (EDA)** to jeden z najłatwiej mierzalnych parametrów psychofizjologicznych. Pomiaru dokonujemy najczęściej mierząc przewodność (wyrażaną w  $\mu\text{S}$ ) pomiędzy palcami lewej dłoni. Fizjologiczna zmiana EDA wynika z aktywności gruczołów potowych oraz wynikającej z tej aktywności zmiany przewodności naskórka. Gruczoły ekrynowe rozmieszczone są bardzo nierównomiernie na powierzchni ludzkiego ciała [Metody psychofizjologiczne..., 1993]. Największa ich gęstość jest na powierzchni dłoni oraz stóp. Poza funkcjami termoregulacyjnymi gruczoły potowe mają zdolność silnego reagowania na bodźce natury psychicznej. Wielu autorów twierdzi, że gruczoły usytuowane na dłoniach i stopach posiadają zdolność reagowania przede wszystkim na bodźce psychiczne, natomiast ich funkcje termoregulacyjne dominują dopiero w zakresie

stosunkowo wysokich temperatur otoczenia, przewyższających 30°C. Pozostałe gruczoły pełnią funkcje termoregulacyjne, reagując w znacznie mniejszym stopniu na bodźce psychiczne. Istnieje także inny pogląd – Allen, Roddie i inni [Metody psychofizjologiczne..., 1993], który zakłada, iż znacznie wyższa aktywność elektrodermalna na dłoniach i stopach wynika z największej gęstości usytuowanych tam gruczołów potowych. Przeprowadzone dotychczas badania wskazują, że reakcja elektrodermalna jest doskonałym wskaźnikiem reakcji orientacyjnej, rozumianej jako forma reakcji organizmu na nowość lub zmianę bodźca. Mimo, że aktywność elektrodermalna jest precyzyjnym wskaźnikiem zmian wywołanych aktywnością badanego lub czynnikami sytuacyjnymi, to jednak psychologiczna interpretacja tychże zmian jest niezwykle trudna.



Rys. 4. Pomiar aktywności elektrodermalnej (palec 2 i 4), fotopletyzmoğraf – kciuk, temperatura – palec 3

### **Aktywność sercowo-naczyniowa – ECG, BVP**

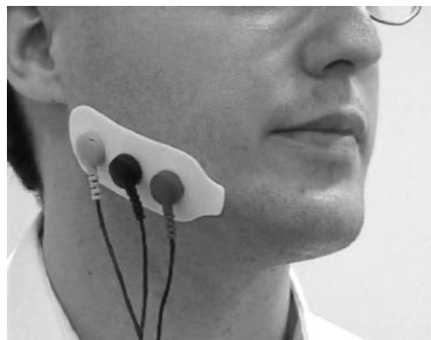
Układ krążenia pełni bardzo ważną rolę w organizmie człowieka. Odpowiada za doprowadzanie tlenu, wody, składników mineralnych i odżywczych. Umożliwia transport hormonów oraz produktów rozpadu metabolicznego do wszystkich komórek naszego ciała. Dla badań o charakterze dydaktycznym najważniejsze wydają się takie wskaźniki pracy układu sercowo-naczyniowego, które są skorelowane z pracą układu nerwowego oraz powiązane z określonym typem aktywności emocjonalno-motywacyjnej. Jak wiadomo wzrost aktywności sercowo-naczyniowej nie jest związany tylko z aktywnością fizyczną organizmu. Bardzo silnie reaguje również na bodźce o charakterze zadaniowym, nie związane z koniecznością podejmowania wysiłku fizycznego [Strelau, 2004]. Psychofizjolodzy badający układ sercowo-naczyniowy wykorzystują techniki pomiarowe opracowane w medycynie. Specyfiką badań jest fakt, iż koncentrujemy się na monitorowaniu wpływu czynników psychicznych na pracę układu krążenia ludzi zdrowych. Podstawowymi i powszechnie znanymi wskaźnikami, które w sposób nieinwazyjny pozwalają monitorować pracę serca są częstotliwość uderzeń serca (tętno), ciśnienie krwi, rejestrowana na powierzchni ciała aktywność elektryczna pracy serca (EKG). Ze względu na charakter naszych badań, szczególną uwagę zwróciliśmy na przepływ krwi (przez palec) i analizę jego zmian. Czynnikiem przemawiającym za takim rodzajem badania jest bardzo mała ilość artefaktów w stosunku do tradycyjnego badania EKG, wymagającego pozostawiania przez długi czas w bezruchu oraz rejestrującego przypadkową aktywność

elektryczną mięśni naszego ciała. Drugim istotnym powodem zainteresowania wskaźnikiem opisującym przepływ krwi przez określone miejsca ciała (BVP) jest koncepcja Sokołowa oraz wyniki badań będących próbą weryfikacji idei reakcji orientacyjnej i obronnej [Turpin, 1984, s. 1-4]. Wskaźnik ten jest bardzo często wykorzystywany przez badaczy, którzy zmiany w przepływie obwodowym wykorzystują jako wskaźnik stresu lub jako wskaźnik pobudzenia w trakcie przetwarzania informacji. Stosowany fotopleletsmograf, jako wskaźnika BVP, jest mobilny i łatwy w obsłudze.



Rys. 5. Stosowany przez nas czujnik BVP – fotopleletsmograf

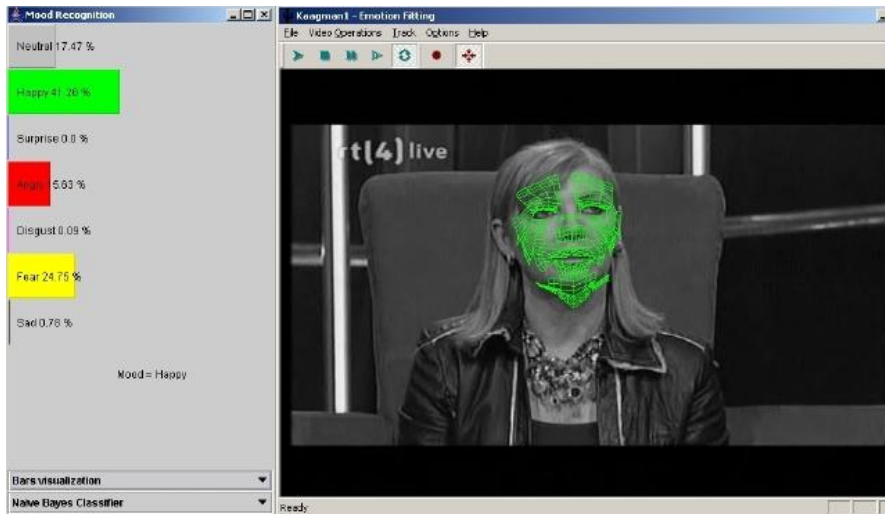
**Elektromiografia (EMG).** Przedmiotem rejestracji w badaniu EMG jest elektryczna aktywność mięśni. Najczęściej rejestruje się aktywność mięśni twarzy, karku lub przedramienia. W literaturze bardzo często badania aktywności mięśni twarzy określa się jako F-EMG, gdzie F rozumiemy jako nerw twarzowy, odpowiadający za mięśnie mimiczne [Metody psychofizjologiczne..., 1993]. Badanie to jest próbą rejestracji emocji poprzez analizę elektrycznej aktywności mięśni twarzy. Cechą charakterystyczną tego badania jest wysoka jego czułość, zdolność pomiaru aktywności elektrycznej mięśni, mimo braku widocznej ich aktywności ruchowej. Wymaga jednak ono stosowania aparatury o czułości porównywalnej z EEG ze względu na bardzo niskie amplitudy sygnału. Bardzo poważny problem stanowi filtracja sygnału oraz właściwe jego przetwarzanie, eliminacja artefaktów i właściwa interpretacja rejestrowanych sygnałów.



Rys. 6. Sposób mocowanie elektrod F-EMG

Współcześnie systemy eyetrackingowe wyposażone w kamery o wysokiej rozdzielczości w połączeniu z oprogramowaniem typu „emotion recognition” potrafią w czasie rzeczywistym poprzez cyfrową analizę zmian mimiki twarzy, tworzyć opis emocji.

Programy tego typu stają się coraz bardziej powszechne także w badaniach komercyjnych, np. w analizie reakcji widzów na prezentowane im reklamy. Na rysunku nr 7 przedstawiono okno jednego z takich programów, współpracującego z kamerą komputera.



Rys. 7. Przykład oprogramowania typu „emotion recognition”  
[<http://staff.science.uva.nl/~aldersho/isis/VisualRecognition/Contact.html>]

### **Monitorowanie częstotliwości i amplitudy oddechu (RESP) oraz temperatury (Temp)**

Zmiany częstotliwości i amplitudy oddechu są dobrym wskaźnikiem naszej aktywności. Zwiększona aktywność intelektualna oraz stres powodują wzrost zapotrzebowania naszego mózgu na składniki odżywcze oraz tlen. Zakładając, że w trakcie rozwiązywania zadań nie wykonujemy zwiększonego wysiłku fizycznego, np. patrzymy na ekran monitora i odpowiedź wskazujemy wzrokiem, wzrost częstotliwości oddechu, zmiany jego amplitudy, jak również zmianę temperatury naszego ciała, możemy uważać za wskaźniki aktywności intelektualnej, motywacji bądź stresu.



Rys. 8. Monitorowanie amplitudy oraz częstotliwości oddechu

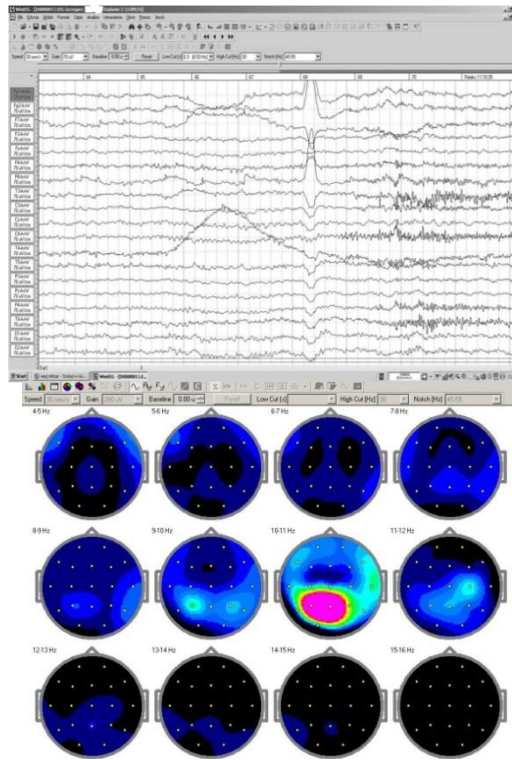
## Elektroencefalografia (EEG)

Aktywność komórek nerwowych w mózgu związana jest z czasowym generowaniem potencjałów elektrycznych rzędu kilkudziesięciu mV. Obecność tkanek, kości czaszki oraz skóry sprawia, że na powierzchni głowy możemy rejestrować wartości uśrednione o znacznie mniejszych amplitudach. Są to różnice potencjałów rzędu od kilku do kilkudziesięciu  $\mu\text{V}$ . Mimo tak małych wartości amplitud sygnału, możemy rejestrować aktywność elektryczną naszego mózgu. Czasowa oraz częstotliwościowa analiza pozwala nam pozyskać ogromną ilość informacji na temat stanu i aktywności badanej osoby. Fale mózgowe podzielono na zakresy częstotliwości oraz opisano zakresy aktywności im odpowiadające [Metody psychofizjologiczne..., 1993]. Fale delta o przedziale częstotliwości od ok. 0,5 do 3 Hz są to sygnały o wysokich amplitudach. Występują w stanie najgłębszego snu, podczas głębokiej medytacji, także u małych dzieci. Fale theta – zakres częstotliwości 4–7 Hz. Fale te są najczęściej występującymi falami mózgowymi podczas medytacji, hipnozy, intensywnego marzenia, intensywnych emocji. Fale alfa o częstotliwościach od 8 do 13 Hz, charakteryzują się zmienną amplitudą. Dominują w stanie relaksu, odprężenia, gdy leżymy z zamkniętymi oczami, przed zaśnięciem i po przebudzeniu. Przedział częstotliwości od 12 do ok. 28 Hz określamy jako fale beta. Charakteryzują się małymi amplitudami. Fale te określane są jako rytm gotowości, charakteryzują stany aktywności, koncentracji, pracę umysłową oraz percepcję zmysłową. Fale gamma to sygnały powyżej 40 Hz do ok. 100 Hz i towarzyszą działaniu i funkcjom motorycznym.



Rys. 9. Montaż elektrod EEG, zastosowanie stacjonarnego elektroencefalografu podczas naszych badań

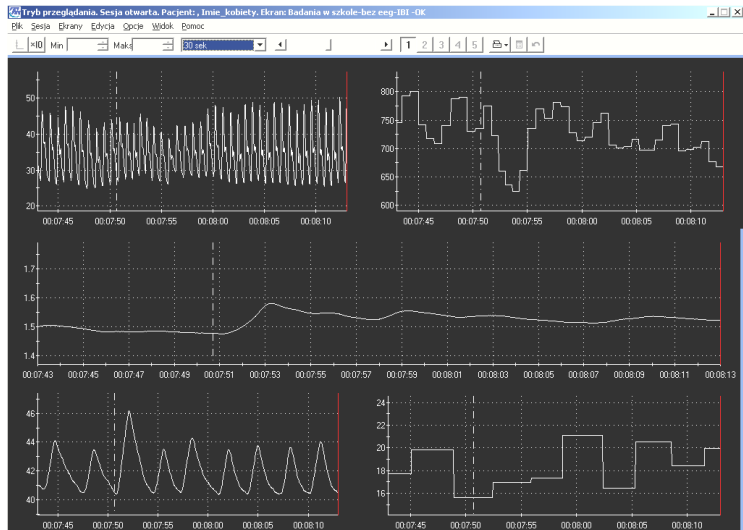




Rys. 10. Przykład zapisu sygnału EEG oraz jego analiza częstotliwościowa dla jednej z badanych przez nas osób

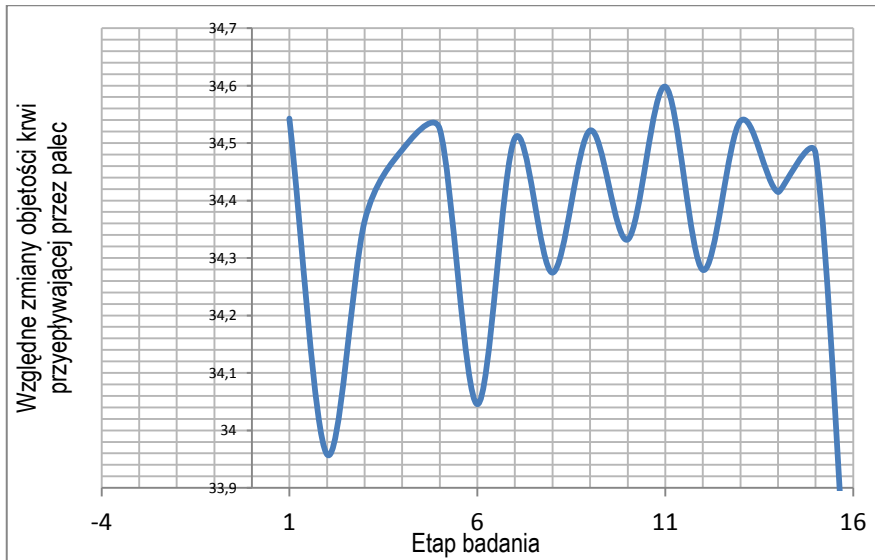
### Przykłady prowadzonych przez nas badań

Badania przeprowadzono na grupie kilkudziesięciu licealistów, uczniów pierwszych i drugich klas o profilu matematyczno-fizycznym. Celem badania było połączenie metod eyetrackingowych śledzenia i rejestracji pracy narządu wzroku badanych podczas rozwiązywania zadań testowych oraz monitorowania parametrów psychofizjologicznych, które pozwalały uzyskiwać dodatkowe informacje na temat motywacji, zmian poziomu koncentracji oraz uwagi badanych w trakcie rozwiązywania zadań z fizyki. Badani mieli za zadanie rozwiązać problemy zawarte w 6 zadaniach testowych oraz 3 pytaniach o charakterze ankietowym. Czas pracy został rozdzielony 2 minutowymi przerwami, podczas których słuchano relaksującej muzyki.

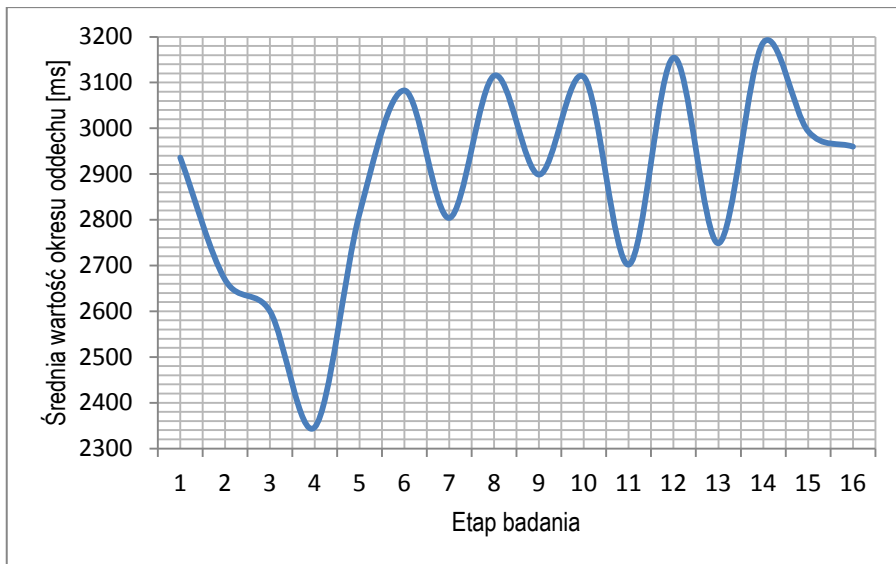


Rys. 11. Okno programu dla urządzenia mobilnego monitorującego pracę serca, przewodność skóry, oddech, podczas prowadzonego badania

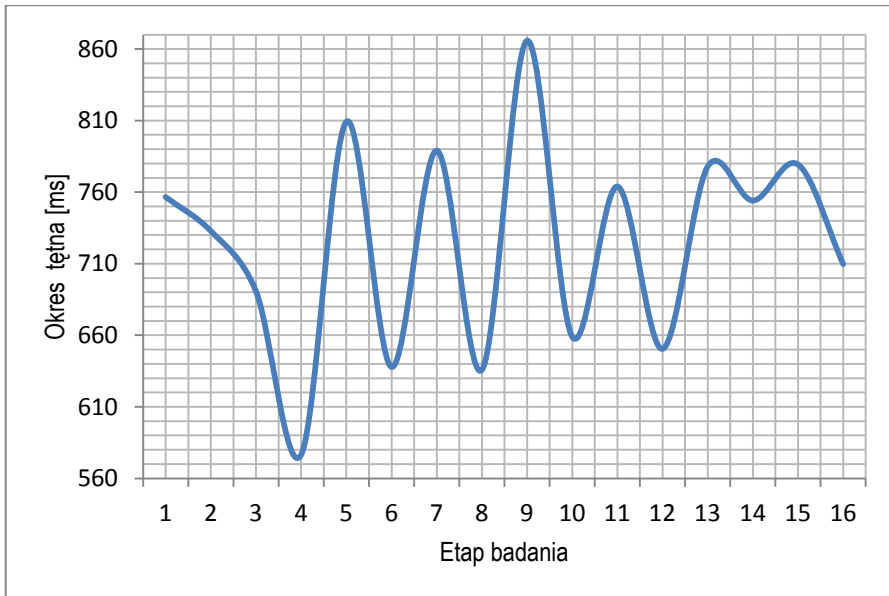
Nie ograniczano czasu rozwiązywania zadań, badani mogli więc realizować je w dowolnym, dogodnym dla siebie tempie. W czasie późniejszej analizy parametrów psychofizjologicznych obliczano wartości średnie poszczególnych wielkości w czasie trwania każdego etapu badania – np. rozwiązania jednego z zadań. Zabieg taki pozwolił przedstawiać średnie wartości rejestrowanych parametrów jako pojedynczy punkt na wykresie odpowiadający jednemu etapowi badania. Zostało to przedstawione na wykresach (rys. 12-15). Szczegółowej analizie poddano następujące parametry IBI (okres uderzeń serca), odchylenie standardowe tętna w trakcie realizacji poszczególnych etapów badania, względne zmiany objętości przepływającej krwi – BVP (przez palec lewej ręki), odchylenie standardowe tych zmian, amplituda, okres oddechu i odchylenie standardowe tych wartości oraz zmiany przewodności skóry. Ze względu na bardzo dużą ilość zebranych informacji, wyłącznie w celu ilustracji charakteru rejestrowanych zmian, przedstawimy wyniki dla jednej z badanych osób.



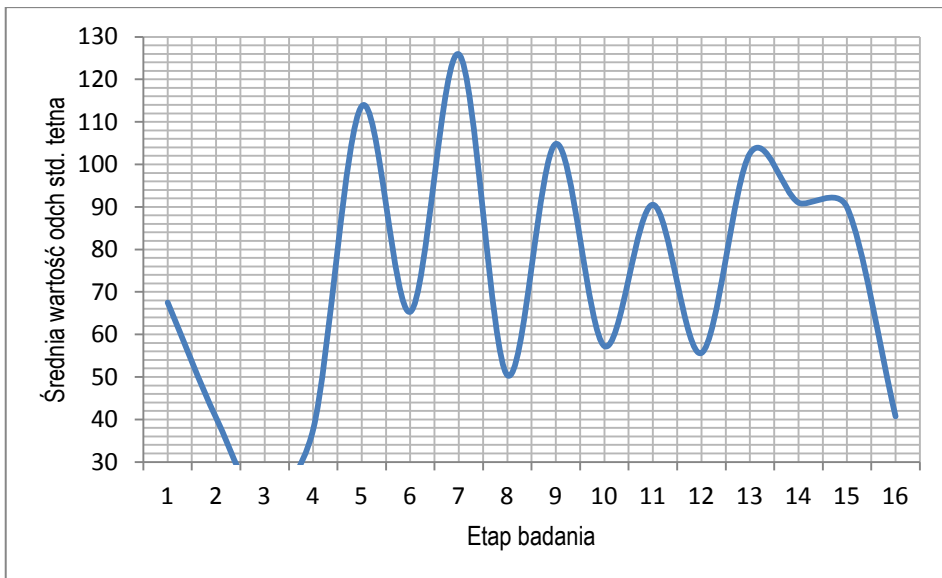
Rys. 12. Wykres przedstawiający względną zmianę objętości krwi przepływającej przez palec w jednostce czasu, podczas realizacji poszczególnych etapów badania, dla jednej z osób (punkty parzyste oznaczają realizację zadania, nieparzyste – relaks)



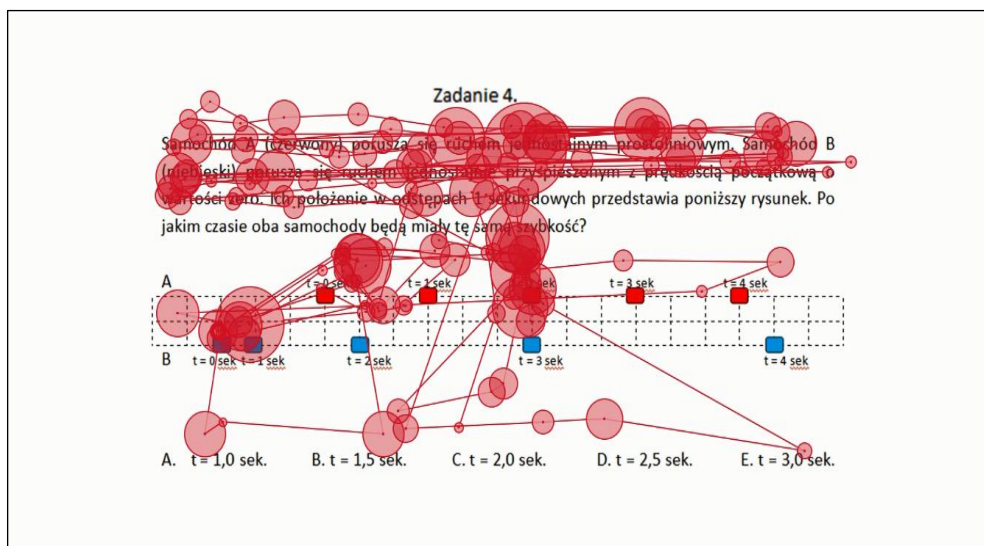
Rys. 13. Wykres przedstawiający zmiany średniej wartości okresu oddechu, podczas realizacji poszczególnych etapów badania, dla jednej z osób (punkty parzyste oznaczają realizację zadania, nieparzyste – relaks)



Rys. 14. Wykres przedstawiający zmiany średniej wartości tętna podczas realizacji poszczególnych etapów badania, dla jednej z osób (punkty parzyste oznaczają realizację zadania, nieparzyste – relaks)



Rys. 15. Wykres przedstawiający zmiany średniej wartości odchylenia standardowego tętna, podczas realizacji poszczególnych etapów badania, dla jednej z osób (punkty parzyste oznaczają realizację zadania, nieparzyste – relaks)



Rys. 16. Jedno z zadań testowych wraz z zarejestrowanymi przez eyetracker sakadycznymi ruchami oczu

## Podsumowanie i wnioski

Prowadzone przez nas eksperymenty dydaktyczne, łączące metody monitorowania parametrów psychofizjologicznych z badaniami eyetrackingowymi, pozwalają na znaczne rozszerzenie dotychczas stosowanych badań bazujących na ankietach, obserwacjach oraz wywiadzie. Przeprowadzone pomiary potwierdzają celowość i sens stosowania tego typu metod. Zarejestrowane wyniki umożliwiają wnikliwą analizę, opis i kontrolę zmian poziomu motywacji uczniów, rejestrację strategii rozwiązywania zadań i analizę podstawowych błędów popełnianych przez uczniów podczas rozwiązywania zadań. Zastosowanie wielokanałowych koderów umożliwia prowadzenie badań w tym samym czasie na szerszej grupie osób, w warunkach eksperymentu naturalnego w klasie lub sali wykładowej. Uzyskujemy tym samym możliwość rejestracji, porównywania zmian parametrów fizjologicznych wielu osób będących wynikiem reakcji na te same bodźce, starając się znaleźć korelacje z deklarowanym poziomem rozumienia, poziomem stresu oraz osiąganymi wynikami nauczania.

## Bibliografia

Baddeley A.: *Hitch G Working memory*. [In:] *Recent advances in learning and motivation*. Ed. Bower G. A. Academic, New York 1974, p. 47-90

Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R.: *Wykorzystanie nowoczesnych technik pomiarowych do badania deklarowanego rozumienia wykładów*. „Edukacja. Studia, Badania, Innowacje” 2009, nr 4

- Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R., Wcisło D.: *Spectrum of physics lecture comprehension*. "European Journal of Physics" 2012, No. 33  
<http://staff.science.uva.nl/~aldersho/isis/VisualRecognition/Contact.html> [dostęp 21.05.2013]
- Ober J.: *Eye movement registration system*. Timra Sweden, Permobil 2000
- Metody psychofizjologiczne w badaniach psychologicznych*. Praca zbiorowa pod red. T. Sosnowskiego. PWN, Warszawa 1993
- Strelau J.: *Psychologia*. Tom 1. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2004
- Trumper R.: *Factor affecting junior high school student's interest in physics*. "Journal of Science and Technology" 2013, Vol. 15, No. 1
- Turpin G.: *Effects of stimulus intensity on autonomic responding. The problem of differentiating orienting and defense reflexes*. "Psychophysiology" 1984, No. 23