

Jan Rajmund Paśko, Patrycja Banaś

Badania eyetrackingowe nad rozwiązywaniem przez uczniów tekstowych zadań z matematyki

Problemy Współczesnej Pedagogiki 3/1, 7-23

2017

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Badania eyetrackingowe nad rozwiązywaniem przez uczniów tekstowych zadań z matematyki

Jan Rajmund Paśko, Patrycja Banaś

Wydział Nauk Społecznych, Małopolska Wyższa Szkoła Ekonomiczna w Tarnowie

A b s t r a k t: Neurodydaktyka jest nową interdyscyplinarną dziedziną badawczą, zajmującą się mechanizmami procesu uczenia się i nauczania. O pracy naszego mózgu w czasie rozwiązywania zadań, problemów podanych w formie obrazu (zapisu słownego) świadczą między innymi ruchy oczu. Zapisem ruchu oczu zajmuje się między innymi eyetracking (okulografia). Tak jak możemy wyróżnić różne rodzaje inteligencji, tak też możemy wyróżnić różne style uczenia się. W związku z tym pojawia się pytanie, czy uczniowie – nauczani przez tego samego nauczyciela – będą stosowali jednakową kolejność wykonywania działań matematycznych, czy też będą wykorzystywali dane liczbowe przedstawione w zadaniu w kolejności, w jakiej występują one w tekście. Przeprowadzono badania na grupie trzydziściorga uczniów piątej klasy szkoły podstawowej. Przy pomocy specjalnie skonstruowanego do badań programu komputerowego, wykonując pomiary przy pomocy eyetrackera, monitorowano ruch oczu w czasie rozwiązywania prostego tekstowego zadania z matematyki. W wyniku badań stwierdzono, że nie można określić dominującego sposobu rozwiązywania przedstawianych zadań. Ten sam uczeń stosował inny sposób do rozwiązywania podobnych zadań.

S ł o w a k l u c z o w e: eyetracking, uczenie się, rozwiązywanie zadań matematycznych, monitorowanie ruchu oczu, okulografia

1. Wprowadzenie

Neurodydaktyka uważana jest za dydaktykę przyszłości. „Neurodydaktyka jest nową interdyscyplinarną dziedziną badawczą zajmującą się mechanizmami procesu uczenia się i nauczania, korzystającą z dorobku takich nauk, jak: dydaktyka, neurobiologia, psychologia po-

znawcza, teoria sieci neuronowych i kilku innych” (Błasiak [red.], 2016, s. 7). Osoby zarządzające edukacją, nauczyciele oraz autorzy podręczników powinni nauczyć się, jak interpretować wyniki badań dostarczane przez neuronauki (Żylińska, 2013, s. 18–20). Dydaktyka przyszłości zakłada łączenie metod nauczania z indywidualnymi możliwościami intelektualnymi uczniów, które w dużej mierze są określane przez mózg. Poznanie i zrozumienie podstawowych mechanizmów uczenia się, a także wprowadzenie metod kształcenia przyjaznych dla mózgu ucznia może ułatwić subdyscyplina dydaktyki, czyli neurodydaktyka (Karpieńska, 2007, s. 99). Nauczyciele powinni poznać zasady funkcjonowania ludzkiego mózgu, jego uczenie się, rozumowanie. Wiedza ta może być szansą na rozwój edukacji przyjaznej mózgowi. Pozwoli wyeliminować błędy i poprawi wydajność procesu dydaktycznego (Sawiński, 2012, s. 40).

W ujęciu psychometrycznym inteligencję określa się jako „zdolność rozwiązywania zadań wchodzących w zakres testów inteligencji” (Christ, 2015, s. 64). Wychodząc z takiego założenia, można twierdzić, że inteligencja jest cechą wrodzoną lub zdolnością jednostki. Teoria inteligencji wielorakich opracowana przez Howarda Gardnera obala tradycyjne rozumienie tego pojęcia. Według niego inteligencja to umiejętność przetwarzania informacji, która wynika z biologii i psychologii ludzkiej (Christ, 2015, s. 64). Jest to również umiejętność tworzenia nowych rzeczy, rozwiązywania problemów, a także zdolność do myślenia, uczenia się i do rozumienia. Zdaniem Gardnera inteligencja nie ogranicza się tylko do jednej płaszczyzny, a wręcz przeciwnie – jest wielopłaszczyznowa i dynamiczna (Grygiel, Płusa, 2015, s. 106). Prowadzone przez niego badania wykazały, że każdy typ inteligencji ma swój ośrodek w odrębnej części mózgu. Jeżeli dojdzie do urazu jakiegokolwiek partii mózgu, można utracić dany rodzaj inteligencji (Dryden, Vos, 2003, s. 123, 347). Teoria Gardnera wymaga ciągłego obserwowania człowieka, analizowania, jak zachowuje się w różnych sytuacjach życiowych. To nie jest tylko przeprowadzanie testów na poziom IQ. Gardner uważa także, że każde społeczeństwo może promować i cenić sobie inny rodzaj inteligencji (Zimbardo, Gerrig, 2012, s. 388). Do tej pory zdefiniował on i opisał osiem typów inteligencji, a mianowicie (Grygiel, Płusa, 2015; Dryden, Vos, 2003):

1. **Inteligencja lingwistyczna**, inaczej nazywana językową lub werbalną, charakteryzuje się umiejętnością poprawnego używania języka, a także zdolnością do dobrego porozumiewania się, czytania i pisania. Osoby posiadające wysoki poziom tej inteligencji są wrażliwe na znaczenie słów, zasady gramatyczne. Lubią poezję, literaturę, zabawy słowne. Dobrze piszą opowiadania, historyjki dzięki temu, że mają bogaty zasób słownictwa i nie mają kłopotów z ortografią. Inteligencja lingwistyczna najczęściej występuje u pisarzy, dziennikarzy, polityków, scenarzystów, poetów czy też mówców. Można ją rozwijać, pozwalając dzieciom wymyślać bajki, opowiadania, historyjki, a także zachęcając je do redagowania gazetek szkolnych, pisania skeczy, opowiadań, uczestniczenia w debatach i dyskusjach.
2. **Inteligencja logiczno-matematyczna** to umiejętność liczenia, logicznego myślenia oraz rozumowania. Osoby obdarzone tą inteligencją lubią liczyć, myśleć abstrakcyjnie, precyzyjnie się wysławiać, eksperymentować. Są dobrze zorganizowane i systematyczne. Ten typ inteligencji występuje u matematyków, prawników, księgowych, inżynierów lub informatyków. Można ją rozwijać dzięki eksperymentowaniu z liczbami, analizowaniu zadań, używaniu programów matematycznych, graniu w gry wymagające obliczeń.
3. **Inteligencja kinestetyczna**, inaczej nazywana motoryczną lub ruchową, to umiejętność wykorzystywania własnego ciała i rąk. Osoby z tym rodzajem inteligencji umieją panować nad własnym ciałem i przedmiotami, postrzegają świat poprzez

ruch i dotyk. Najlepiej uczą się przez ruch i działanie, są sprawne fizycznie i manualnie. Lubią prace ręczne, taniec i sport. Ten typ inteligencji najczęściej spotyka się u sportowców, tancerzy, aktorów, akrobatów lub chirurgów. Można ją rozwijać, wykonując ćwiczenia fizyczne, tańcząc, odgrywając scenki, ruszając się przy nauce.

4. **Inteligencja wizualno-przestrzenna**, czyli umiejętność malowania, rzeźbienia, fotografowania, a także zdolność do orientowania się w terenie i do wizualizacji. Osoby obdarzone tą inteligencją lubią układać trójwymiarowe układy, sklejając modele, budować z klocków, z łatwością odczytują mapy, schematy lub wykresy. Mają dobrze rozwiniętą wyobraźnię, dobrze rysują, malują oraz są wrażliwe na piękno i szczegóły. Ten typ inteligencji występuje u geodetów, malarzy, architektów, projektantów lub pilotów. Można ją rozwijać, zapisując dziecko na zajęcia plastyczne, sklejając z nim modele, zachęcając do częstego malowania, rysowania, budowania lub układania.
5. **Inteligencja muzyczna** to umiejętność śpiewania, grania na instrumentach, komponowania, a więc zalicza się tutaj ogólne predyspozycje i zdolności muzyczne. Osoby z tym rodzajem inteligencji potrafią wyklaskać rytm, prawidłowo odtworzyć muzykę, śpiewać w odpowiedniej tonacji. Ten typ inteligencji spotyka się u muzyków, piosenkarzy, tancerzy, kompozytorów lub dyrygentów. Można ją rozwijać, słuchając muzyki, śpiewając, grając na instrumentach.
6. **Inteligencja przyrodnicza**, inaczej określana jako naturalistyczna, to umiejętność życia w zgodzie z naturą. Osoby z tym rodzajem inteligencji czerpią radość z poznawania przyrody. Wykorzystują w tym celu wszystkie zmysły, a więc wzrok, słuch, dotyk, węch i smak. Osoby te lubią uprawiać rośliny, obserwować zjawiska atmosferyczne, przebywać na świeżym powietrzu. Potrafią rozpoznawać gatunki zwierząt, roślin, a nawet odgłosy ptaków. Ten typ inteligencji występuje u weterynarzy, biologów, ogrodników lub hodowców zwierząt. Można ją rozwijać, organizując wycieczki przyrodnicze, spacerować, zabierając dzieci do schroniska i opiekując się zwierzętami.
7. **Inteligencja interpersonalna** charakteryzuje się umiejętnością nawiązywania kontaktów z innymi ludźmi. Osoby obdarzone tą inteligencją łatwo nawiązują kontakty z innymi, potrafią odczytywać cudze intencje, są empatyczne, mają wielu przyjaciół, lubią współpracować, pracować w grupie i są dobrymi negocjatorami. Ten typ inteligencji spotykamy najczęściej u nauczycieli, psychologów, mediatorów, lekarzy, a nawet polityków. Można ją rozwijać, organizując gry zespołowe, ucząc się z innymi, nawiązując kontakty towarzyskie, pomagając innym.
8. **Inteligencja intrapersonalna**, nazywana inaczej introspektywną, to umiejętność wejrzenia w siebie oraz rozumienia i poznania siebie. Osoby z tym rodzajem inteligencji dobrze znają siebie, mają intuicję, są świadome swoich uczuć i wartości, które uznają, potrafią same się motywować, znają swoje mocne i słabe strony. Są bardzo ambitne, skryte, lubią podejmować ryzyko i odnosić sukcesy. Dodatkowym atutem tych osób jest to, że są niezależne, mają swoje zdanie i same decydują o sobie. Ten typ inteligencji występuje u filozofów, psychologów, terapeutów lub powieściopisarzy. Można ją rozwijać, rozmawiając z dziećmi o uczuciach, ucząc wyrażania swoich emocji, pisząc pamiętniki, a także prowadząc rozmowy od serca.

Zdaniem Gardnera każdy człowiek rodzi się ze wszystkimi rodzajami inteligencji, jednak to od środowiska, w którym się wychowuje, a także od edukacji i kultury zależy, w jakim stopniu rozwinię się dany typ inteligencji. Według niego wszyscy jesteśmy istotami niepowtarzal-

nymi, a zarazem uzdolnionymi. Warto pamiętać, że rozwój uzdolnień uzależniony jest w dużej mierze od osobowości dziecka, jego cech indywidualnych, a także od środowiska społecznego i wychowawczego. Nauczyciele powinni rozpoznawać uzdolnienia swoich uczniów, aby móc dobrać odpowiednie formy i metody pracy. Ważne jest też, aby oceniali zdolności dziecka, a nie jego wiedzę, gdyż dopiero na podstawie zdolności można sprawdzić, czy uczeń potrafi wykorzystać wiadomości, które przyswoił (Grygiel, Płusa, 2015, s. 119–120). Gardner w oparciu o swoje odkrycia doszedł do wniosku, że powinno się wykorzystywać teorie inteligencji wielorakich w procesie uczenia się oraz do planowania przyszłej edukacji. Wiąże się to głównie z tym, aby traktować każdego ucznia indywidualnie (Christ, 2015, s. 68).

Każdy człowiek ma własny, niepowtarzalny styl uczenia się. Zadanie nauczycieli powinno polegać na rozpoznawaniu owych stylów u uczniów, aby móc dobrać dla nich odpowiednią metodę kształcenia. Niestety w większości szkół nie przywiązuje się do tego większej wagi. Nadal naucza się tak, jakby wszyscy uczniowie byli identyczni i w jednaki sposób przyswajali wiedzę (Dryden, Vos, 2003, s. 25, 31). Tymczasem do kontaktu ze światem wykorzystują oni pięć zmysłów: wzrok, słuch, węch, smak i dotyk. Pośród nich dominują trzy kanały percepcyjne, którymi uczeń może odbierać wiadomości. Jest to kanał wzrokowy, słuchowy i kinestetyczny. W zależności od tego, który z nich jest najlepiej rozwinięty u dziecka, wyróżnia się (Dryden, Vos, 2003; Podruczny, Jureczko, 2015):

- **w z r o k o w c ó w**, którzy preferują sztuki wizualne. Najlepiej zapamiętują, gdy zobaczą to, czego mają się nauczyć. Uczą się głównie poprzez czytanie. Lubią robić notatki, wykresy, mapy, tabele i schematy. Dużo informacji przekazują wizualnie, ważna jest u nich forma przekazu;
- **s ł u c h o w c ó w**, którzy najczęściej uczą się, słuchając innych, wykorzystując bodźce dźwiękowe. Chętnie prowadzą dyskusje, dialogi. Lubią wykłady, muzykę, długie wypowiedzi własne, wolą mówić o działaniach niż je oglądać. Czytają głośno lub półgłosem, często mówią rytmicznie;
- **k i n e s t e t y k ó w / d o t y k o w c ó w**, którzy uczą się najchętniej w ruchu, aktywnie angażując się w proces uczenia. Przeważają wiedzę, eksperymentując i przeprowadzając doświadczenia oraz dotykając, doznając wrażeń na powierzchni skóry. Męczą się, słuchając wykładów, potrzebują wtedy choćby najmniejszej formy ruchu.

2. Badania eyetrackingowe

Mózg człowieka rejestruje bodźce docierające do niego z naszego otoczenia, które są przekazywane przez nasze zmysły. Najwięcej informacji dociera do umysłu za pośrednictwem wzroku. Z tego powodu zastanawiano się, jak zachowuje się oko w czasie odbioru bodźców z otoczenia. Już z końcem XIX wieku czyniono pierwsze próby rejestracji ruchu oka w czasie oglądania obrazu otaczającego nas świata (Wawer, 2014, s. 11).

Ludzki wzrok bardzo szybko przesuwa się po obrazie. Ruchy, jakie wykonuje wtedy oko, są skokowe i składają się z dwu elementów. Jednym z nich jest bardzo szybkie przemieszczanie się wzroku, określane jako ruchy sakadowe. Po takim skoku następuje bardzo krótkie zatrzymanie, określane jako fiksacja (Strelau, 2000, s. 156). To właśnie w czasie fiksacji następuje odbiór informacji.

Rejestrowaniem ruchu wzroku zajmuje się eyetracking, któremu w Polsce nadano nazwę okulografii. Eyetracking można określić jako zbiór technik, które umożliwiają dostarczanie informacji na podstawie śledzenia ruchów gałki ocznej. Pierwsze pomiary miały

charakter inwazyjny. Dzięki rozwojowi technologicznemu udało się stworzyć nowoczesny eyetracker, który pozwala na bezinwazyjną, a zarazem bezdotykową, nieingerującą w naturalne zachowanie badanych obserwację (Nowakowska-Buryła, Joński, 2012, s. 486).

Technika okulograficzna stała się na tyle dostępna, że zaczęto ją wykorzystywać w różnego rodzaju pomiarach. Począwszy od reklamy, a skończywszy na dydaktyce ogólnej czy dydaktykach szczegółowych, zwanych też przedmiotowymi (Paško 2016).

Obecnie stosowane eyetrackery są bardzo różnorodne, różnią się między sobą nie tylko wielkością parametrów pomiarów, ale także ustawieniem urządzenia rejestrującego względem oczu badanego. Ze tego względu wyróżnia się eyetrackery mobilne, nazywane nagłownymi, i niemobilne, czyli stacjonarne. Mobilne eyetrackery mogą zostać umocowane do czapki z daszkiem lub kasku. Niektóre można nakładać w postaci okularów czy też gogli. Z kolei niemobilne najczęściej są połączone z monitorem (wyróżnić wśród nich można urządzenia stacjonarne oraz małe przenośne). W zależności od rodzaju sygnałów używanych do analizy położenia gałki ocznej można wyróżnić eyetrackery: elektryczne, mechaniczne, fotoelektryczne, magnoelektryczne oraz video. Współcześnie najczęściej stosuje się urządzenia oparte na technologii video (Nowakowska-Buryła, Joński, 2012, s. 486).

Pomiar polega na skierowaniu na gałkę oczną promieniowania podczerwonego, które jest niewidoczne dla człowieka, nie odwraca więc uwagi badanego. Odbijane od rogówki promienie są rejestrowane przez specjalną kamerę, a gromadzone dane – przekazywane do komputera.

Głównymi parametrami mierzonymi przez eyetracker są fiksacje i sakady. Fiksacje określa się jako motoryczne czynności oka, czyli stan względnego spoczynku gałki ocznej, który jest połączony z zatrzymaniem wzroku na konkretnym obiekcie. Pobieranie informacji wzrokowych z otoczenia odbywa się właśnie podczas fiksacji. Sakady z kolei to skokowe ruchy przenoszenia wzroku na te punkty, które są potrzebne do zrealizowania zadania (Sikora, Stolińska, 2016, s. 27–28).

Uzyskane w czasie badania dane mogą być zaprezentowane w kilku formach. Najczęściej stosowana jest tak zwana mapa cieplna. Prezentuje ona w postaci wizualnej obszary, na które badany kierował wzrok. Skupienie uwagi, czyli częstotliwość i czas obserwacji, oznacza się kolorami. Duże zainteresowanie danym obszarem zaznacza się kolorem czerwonym lub pomarańczowym, mniejsze – żółtym, a minimalne – zielonym. Elementy, na które badany w ogóle nie kierował wzroku, nie są na mapie cieplnej oznaczone żadnym kolorem. Chcąc uzyskać informacje o kolejności skupiania wzroku przez badanego, należy użyć ścieżek skanowania, które przedstawiają ruch sakadowy po oglądanym obrazie. Otrzymane wyniki mogą być prezentowane w postaci okręgów, które w zależności od kolejności skupiania wzroku mogą być ponumerowane chronologicznie, a ich wielkość wskazuje na czas fiksacji (Sikora, Stolińska, 2016, s. 29). Wyniki badań eyetrackingowych mogą dostarczyć wielu informacji cennych dla psychologa i pedagoga, a w szczególności dla dydaktyka oraz nauczyciela. Przykładem jest śledzenie wzroku badanego w czasie uzgadniania współczynników równań reakcji chemicznych (Paško, Rosiek 2014).

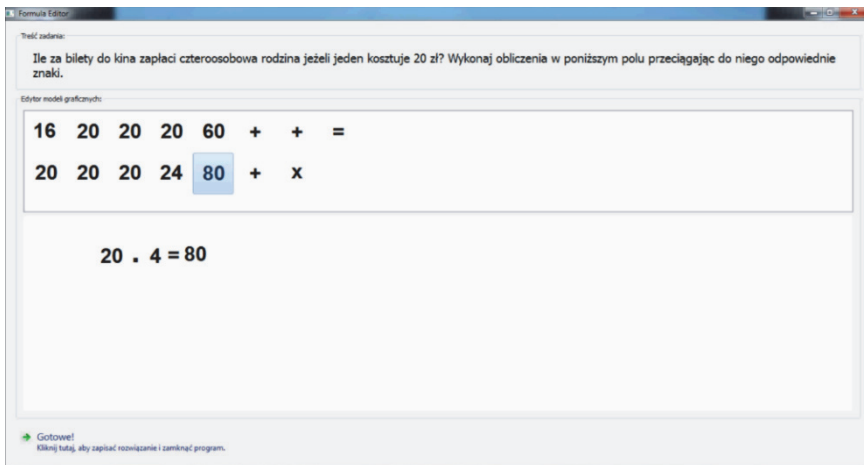
3. Przeprowadzenie badań

Biorąc pod uwagę różne rodzaje inteligencji uczniów, jak i różne strategie uczenia się, postanowiono zbadać, jak uczniowie piątej klasy szkoły podstawowej analizują proste matematyczne zadanie tekstowe oraz w jakiej kolejności wykorzystują umieszczone w nim dane liczbowe.

Na potrzeby badania postawiono hipotezę, iż uczniowie w czasie rozwiązywania zadania tekstowego zawarte w nim dane liczbowe wykorzystują w kolejności ich występowania w tekście. Za zmienną niezależną przyjęto tekst zadania, natomiast jako zmienne zależne – czytanie tekstu i sposób rozwiązywania zadania. Za wskaźniki uznano: kolejność wykonywania operacji, liczbę fiksacji w danym polu oraz czas fiksacji w danym polu. Narzędziem badawczym było urządzenie The Eye Tribe 60 Hz (model ET1000), współpracujące z programem Ogama (wersja 5.0), rejestrujące ruch oczu oraz program komputerowy Formula Editor 1.9.

Badania przeprowadzono w 2016 roku w Szkole Podstawowej im. św. Jana Kantego w Wojniczu. W badaniach udział brało trzydzieścioro uczennic i uczniów uczęszczających do klas piątych, którzy uzyskali zezwolenie od rodziców na udział w badaniach. Uczniowie zostali poinformowani, na czym będzie polegało badanie, zapoznano ich z działaniem eyetrackera oraz z liczbą zadań, które przygotowano do rozwiązania. Zadania były wyświetlane na monitorze komputera. Przygotowanie pytań do ekspozycji, a następnie ich wyświetlanie było realizowane w specjalnie do tego celu przeznaczonym programie, którego wersja 1.9 przystosowana została do tych badań (Paško, Kamisiński, 2011).

Uczniowie obserwowali na monitorze obraz, w którym można wyróżnić trzy podstawowe pola podlegające analizie eyetrackera. Pierwszym polem był tekst zadania. Drugim – tzw. biblioteka, którą stanowiły podane w nadmiarze cyfry i liczby oraz znaki działań matematycznych. Trzecim polem była plansza, na której uczniowie umieszczali w odpowiedniej kolejności właściwe elementy zawarte w bibliotece.



Rysunek 1. Plansza do badań w programie Formula Editor w wersji 1.9

Źródło: opracowanie własne.

Na potrzeby badania przygotowano trzy zestawy pytań, z których każdy zawierał trzy zadania. W każdym zestawie wszystkie trzy zadania miały bardzo zbliżoną treść, różniły się tylko kolejnością występujących w tekście danych liczbowych. Zestawy natomiast różniły się między sobą treścią zadań. Stopień ich trudności był niewielki, tak aby wszyscy uczniowie potrafili je rozwiązać.

Zestawy pytań wykorzystane w badaniach:

ZESTAW I

- 1) Zadanie 1: Ania kupiła blok za 3 zł i kredki za 5 zł. Ile reszty dostanie, gdy da sprzedawcy banknot 20 zł?
- 2) Zadanie 2: Ania kupiła kredki za 5 zł i blok za 3 zł. Dała sprzedawcy banknot 20 zł. Ile reszty dostanie?
- 3) Zadanie 3: Ania dała sprzedawcy banknot 20 zł. Ile reszty dostanie, jeżeli kupiła blok za 3 zł i kredki za 5 zł?

ZESTAW II

- 1) Zadanie 1: Czterooosobowa rodzina postanowiła pójść do kina. Ile zapłacą za bilety, jeżeli jeden kosztuje 20 zł?
- 2) Zadanie 2: Jeden bilet do kina kosztuje 20 zł. Ile za bilety zapłaci czterooosobowa rodzina?
- 3) Zadanie 3: Ile za bilety do kina zapłaci czterooosobowa rodzina, jeżeli jeden kosztuje 20 zł?

ZESTAW III

- 1) Zadanie 1: W sklepiku szkolnym było 10 zeszytów. Tomek kupił 2 zeszyty w linię i 4 zeszyty w kratkę. Ile zeszytów zostało w sklepiku?
- 2) Zadanie 2: Tomek kupił w sklepiku szkolnym 4 zeszyty w kratkę i 2 zeszyty w linię. Ile zeszytów zostało, jeżeli wszystkich było 10?
- 3) Zadanie 3: Ile z 10 zeszytów zostało w sklepiku szkolnym, jeżeli Tomek kupił 2 zeszyty w linię i 4 zeszyty w kratkę?

Uczniowie uczestniczący w badaniach zostali podzieleni na trzy grupy liczące po dziesięć uczniów każda. Każda grupa miała do rozwiązania inny zestaw pytań.

4. Omówienie wyników badań

Zgodnie z założeniami zadania okazały się dla uczniów łatwe do rozwiązania. Na 90 zadań (trzydzieścioro uczniów rozwiązywało po trzy zadania), które mieli rozwiązać, tylko pięć zostało rozwiązanych błędnie. Czwooro uczniów rozwiązało błędnie pierwsze zadanie, a jeden – trzecie.

Tabela 1. Zestaw I – liczba fiksacji w polu tekstu zadania oraz kolejność wpisywania liczb z tekstu zadania w czasie jego rozwiązywania

Uczeń	Zadanie 1		Zadanie 2		Zadanie 3	
	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania
1	Tak	0	Nie	0	Nie	0
2	Tak	3	Tak	3	<i>Tak*</i>	0
3	Nie	0	Nie	2	Nie	2
4	Tak	4	Nie	5	Nie	3
5	Nie	0	Nie	1	Nie	3
6	Tak	3	Nie	7	Nie	5
7	Tak	3	Tak	1	Tak	1
8	<i>Nie</i>	4	Nie	6	Nie	6
9	Tak	3	Tak	5	Tak	3
10	Tak	2	Tak	1	Tak	2

* Kursywą zaznaczono zadanie błędnie rozwiązane.

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Tabela 2. Zestaw II – liczba fiksacji w polu tekstu zadania oraz kolejność wpisywania liczb z tekstu zadania w czasie jego rozwiązywania

Uczeń	Zadanie 1		Zadanie 2		Zadanie 3	
	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania
11	Nie	3	Tak	2	Nie	1
12	<i>Nie*</i>	4	Tak	4	Nie	1
13	Nie	2	Tak	2	Nie	0
14	<i>Nie</i>	2	Nie	1	Nie	1
15	Nie	0	Nie	3	Nie	0
16	Tak	3	Nie	1	Nie	0
17	Nie	0	Tak	2	Tak	1

18	Nie	5	Tak	3	Tak	2
19	Nie	1	Tak	1	Nie	0
20	Nie	1	Tak	0	Nie	1

* Kursywą zaznaczono zadanie błędnie rozwiązane.

Ź r ó d ł o: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Tabela 3. Zestaw III – liczba fiksjacji w polu tekstu zadania oraz kolejność wpisywania liczb z tekstu zadania w czasie jego rozwiązywania

Uczeń	Zadanie 1		Zadanie 2		Zadanie 3	
	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania	Rozwiązywanie zgodnie z kolejnością danych	Liczba powrotów do tekstu zadania
21	Nie	1	Nie	0	Nie	0
22	Tak	3	Nie	2	Tak	1
23	<i>Nie*</i>	0	Nie	2	Nie	3
24	Tak	2	Nie	2	Tak	3
25	Tak	5	Nie	6	Tak	3
26	Nie	3	Nie	4	Tak	0
27	Tak	4	Tak	1	Nie	3
28	Nie	4	Tak	3	Nie	3
29	Nie	1	Tak	1	Nie	2
30	Tak	2	Tak	1	Tak	0

* Kursywą zaznaczono zadanie błędnie rozwiązane.

Ź r ó d ł o: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Analizując wyniki badania zawarte w tabelach 1, 2 i 3, należy stwierdzić, że na 90 zadań, które mieli ogółem do rozwiązania badani, tylko 15 było rozwiązanych zgodnie z kolejnością danych zawartych w treści zadania, co stanowi około jedną szóstą wszystkich zadań. Na trzydzieścioro badanych tylko pięć osób rozwiązywało wszystkie zadania zgodnie z kolejnością danych zawartych w jego treści. Natomiast siedmioro uczniów wszystkie zadania rozwiązało, nie wykorzystując danych w kolejności ich występowania w tekście. Wśród tych zadań tylko dwa były błędnie rozwiązane.

W przypadku rozwiązywania osiemnastu zadań uczniowie tylko raz przeczytali tekst polecenia i już do niego nie powracali, o czym świadczy liczba fiksacji w polu tekstu zadania. Najwięcej, bo siedmiokrotnie, powracał do tekstu zadania tylko jeden uczeń i miało to miejsce w przypadku zadania 2 z zestawu I. Częściej do treści zadania wracali uczniowie rozwiązujący zadania niezgodnie z kolejnością danych umieszczonych w tekście. 55% wszystkich powrotów do tekstu następowało w przypadku rozwiązywania zadania niezgodnie z kolejnością danych występujących w tekście. W przypadku ośmiu zadań uczniowie nie wykonali mnożenia, a obliczyli wynik, dodając do siebie cztery razy tę samą wartość. W ten sposób jeden uczeń postąpił we wszystkich zadaniach, jeden w przypadku dwu zadań, a trzech tylko w jednym zadaniu.

Analiza wyników uzyskanych w przeprowadzonym badaniu, które przedstawiono w tabelach 4–6, pozwala na stwierdzenie, że można wyróżnić następujące sposoby postępowania uczniów:

1. Uczniowie rozwiązują wszystkie trzy zadania, wykorzystując dane w kolejności występowania w zadaniu.
2. Uczniowie do rozwiązania pierwszego zadania wykorzystują dane w kolejności występowania w zadaniu, natomiast dwa pozostałe zadania rozwiązują w takiej kolejności, jak pierwsze.
3. Uczniowie każde zadanie rozwiązują niezgodnie z kolejnością występowania danych w tekście i równocześnie każde zadanie jest rozwiązywane inaczej.
4. Uczniowie pierwsze zadanie rozwiązują niezgodnie z kolejnością danych występujących w treści, a pozostałe obydwie lub jedno w kolejności zgodnej z danymi występującymi w treści zadania.

Tabela 4. Zestaw I – kolejność wpisu liczb w czasie rozwiązywania

	Zadanie 1	Zadanie 2	Zadanie 3
Kolejność liczb w zadaniu	3, 5, 20	5, 3, 20	20, 3, 5
Uczeń	Kolejność wpisu liczb	Kolejność wpisu liczb	Kolejność wpisu liczb
1	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$
2	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$5 + 3 = 8; 20 - 8 = 12$	$20 - 5 + 3 = 12^*$
3	$20 - 5 - 3 = 12$	$20 - 5 - 3 = 12$	$20 - 5 - 3 = 12$
4	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$20 - 5 - 3 = 12$	$20 - 3 - 5 = 17 - 5 = 12$
5	$5 + 3 = 8; 20 - 8 = 12$	$20 - 5 - 3 = 12$	$20 - 3 = 17 - 5 = 12$
6	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$20 - 3 - 5 = 12$	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$
7	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$5 + 3 = 8; 20 - 8 = 12$	$5 + 3 = 8; 20 - 8 = 12$
8	$8 - 20 = 12$	$20 - 8 = 12$	$20 - 8 = 12$

9	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$5 + 3 = 8; 20 - 8 = 12$	$5 + 3 = 8; 20 - 8 = 12$
10	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$	$5 + 3 = 8; 20 - 8 = 12$	$3 + 5 = 8; 20 - 8 = 12$

* Kursywą zaznaczono zadanie błędnie rozwiązane.

Ź r ó d ł o: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Tabela 5. Zestaw II – kolejność wpisu liczb w czasie rozwiązywania

	Zadanie 1	Zadanie 2	Zadanie 3
Kolejność liczb w zadaniu	4, 20	20, 4	4, 20
Uczeń	Kolejność wpisu liczb	Kolejność wpisu liczb	Kolejność wpisu liczb
11	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$
12	$20 + 4 = 24^*$	$20 \cdot 4 = 80$	$20 + 20 + 20 + 20 = 80$
13	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$
14	$20 + 20 + 20 + 20 = 60$	$20 + 20 + 20 + 20 = 80$	$20 + 20 + 20 + 20 = 80$
15	$20 \cdot 4 = 80$	$20 + 20 + 20 + 20 = 80$	$20 + 20 + 20 + 20 = 80$
16	$4 \cdot 20 = 80$	$4 \cdot 20 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$
17	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$	$4 \cdot 20 = 80$
18	$20 + 20 + 20 + 20 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$	$4 \cdot 20 = 80$
19	$20 + 20 + 20 + 20 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$
20	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$	$20 \cdot 4 = 80$

* Kursywą zaznaczono zadanie błędnie rozwiązane.

Ź r ó d ł o: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Tabela 6. Zestaw III – kolejność wpisu liczb w czasie rozwiązywania

	Zadanie 1	Zadanie 2	Zadanie 3
Kolejność liczb w zadaniu	10, 2, 4	4, 2, 10	10, 2, 4
Uczeń	Kolejność wpisu liczb	Kolejność wpisu liczb	Kolejność wpisu liczb
21	$2 + 4 = 6; 10 - 6 = 4$	$2 + 4 = 6; 10 - 6 = 4$	$2 + 4 = 6; 10 - 6 = 4$
22	$10 - 2 - 4 = 4$	$10 - 4 - 2 = 4$	$10 - 2 - 4 = 4$

23	$4 + 2 = 6; 6 - 10 = 4^*$	$10 - 4 - 2 = 4$	$10 - 6 = 4$
24	$10 - 2 - 4 = 4$	$10 - 4 - 2 = 4$	$10 - 2 - 4 = 4$
25	$10 - 2 = 8; 8 - 4 = 4$	$10 - 4 = 6; 6 - 2 = 4$	$10 - 2 = 8; 8 - 4 = 4$
26	$10 - 4 - 2 = 4$	$10 - 4 - 2 = 4$	$10 - 2 - 4 = 4$
27	$10 - 2 - 4 = 4$	$4 + 2 = 6; 10 - 6 = 4$	$2 + 4 = 6; 10 - 6 = 4$
28	$10 - 4 - 2 = 4$	$4 + 2 = 6; 10 - 6 = 4$	$2 + 4 = 6; 10 - 6 = 4$
29	$2 + 4 = 6; 10 - 6 = 4$	$4 + 2 = 6; 10 - 6 = 4$	$2 + 4 = 6; 10 - 6 = 4$
30	$10 - 2 - 4 = 4$	$4 + 2 = 6; 10 - 6 = 4$	$10 - 2 - 4 = 4$

* Kursywą zaznaczono zadanie błędnie rozwiązane.

Ź r ó d ł o: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

W III zestawie kolejność danych w zadaniu 1 i 3 była taka sama. Czworo uczniów rozwiązywało zadanie 1 i 3 w takiej samej kolejności, zgodnie z kolejnością danych występujących w tekście. Natomiast dwoje uczniów rozwiązało zadanie 1 i 3 w takiej samej kolejności, jednak niezgodnie z kolejnością danych występujących w tekście.

Tabela 7. Zestaw I – czas rozwiązywania i uzyskany wynik, liczba fiksacji

Uczeń	Zadanie 1			Zadanie 2			Zadanie 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	27 s	Tak	69	30 s	Tak	54	28 s	Tak	73
2	45 s	Tak	68	48 s	Tak	46	28 s	Nie	29
3	23 s	Tak	41	24 s	Tak	53	22 s	Tak	62
4	27 s	Tak	61	39 s	Tak	99	53 s	Tak	129
5	35 s	Tak	96	28 s	Tak	84	46 s	Tak	100
6	33 s	Tak	91	30 s	Tak	114	36 s	Tak	110
7	35 s	Tak	103	28 s	Tak	54	54 s	Tak	82
8	52 s	Nie	41	48 s	Tak	11	21 s	Tak	11
9	35 s	Tak	52	24 s	Tak	40	49 s	Tak	61
10	22 s	Tak	66	17 s	Tak	60	21 s	Tak	79
Średnia	33,4	—	68	31,6	—	61	35,8	—	73

A – całkowity czas rozwiązywania zadania; B – poprawność rozwiązanej zadania; C – całkowita liczba fiksacji

Ź r ó d ł o: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Tabela 8. Zestaw II – czas rozwiązywania i uzyskany wynik, liczba fiksacji

Uczeń	Zadanie 1			Zadanie 2			Zadanie 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
11	20 s	Tak	89	20 s	Tak	62	9 s	Tak	50
12	30 s	Nie	56	50 s	Tak	58	23 s	Tak	48
13	22 s	Tak	96	18 s	Tak	64	11 s	Tak	66
14	30 s	Nie	30	19 s	Tak	40	19 s	Tak	27
15	12 s	Tak	65	27 s	Tak	74	61 s	Tak	131
16	45 s	Tak	126	10 s	Tak	55	11 s	Tak	49
17	22 s	Tak	18	35 s	Tak	28	12 s	Tak	29
18	54 s	Tak	66	18 s	Tak	23	15 s	Tak	8
19	24 s	Tak	50	15 s	Tak	45	30 s	Tak	55
20	12 s	Tak	53	7 s	Tak	37	7 s	Tak	44
Średnia	27,1	—	64	21,9	—	48	19,8	—	50

A – całkowity czas rozwiązywania zadania; B – poprawność rozwiązanej zadania; C – całkowita liczba fiksacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Tabela 9. Zestaw III – czas rozwiązywania i uzyskany wynik, liczba fiksacji

Uczeń	Zadanie 1			Zadanie 2			Zadanie 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
21	31 s	Tak	93	23 s	Tak	34	18 s	Tak	43
22	30 s	Tak	103	36 s	Tak	64	25 s	Tak	54
23	42 s	Nie	72	19 s	Nie	62	13 s	Nie	64
24	22 s	Tak	46	20 s	Tak	49	24 s	Tak	60
25	40 s	Tak	127	32 s	Tak	84	46 s	Tak	136
26	91 s	Tak	147	38 s	Tak	88	11 s	Tak	49
27	23 s	Tak	54	26 s	Tak	28	22 s	Tak	18
28	27 s	Tak	89	26 s	Tak	64	53 s	Tak	102

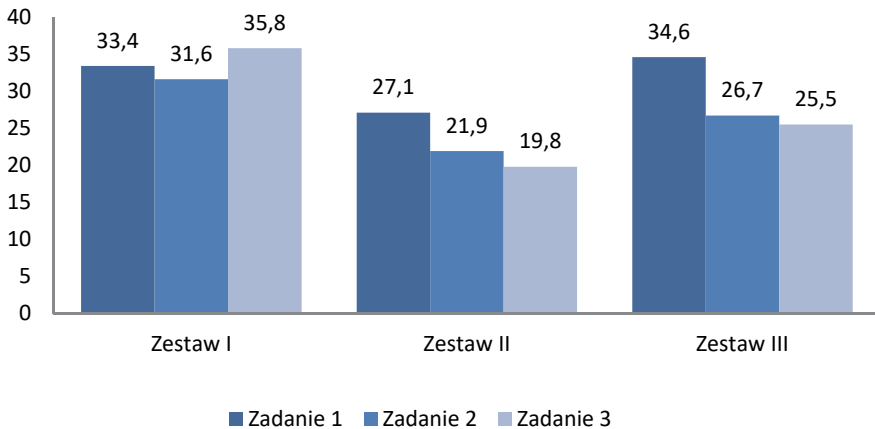
29	26 s	Tak	11	27 s	Tak	11	25 s	Tak	12
30	14 s	Tak	65	20 s	Tak	68	18 s	Tak	69
Średnia	34,6	—	80	26,7	—	55	25,5	—	60

A – całkowity czas rozwiązywania zadania; B – poprawność rozwiązane zadania; C – całkowita liczba fiksjacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Uzyskane wyniki wskazują, że badani w różnym czasie otrzymywali pozytywne rozwiązanie zadania tekstowego. Najkrótszym czasem (7 s) wykazał się uczeń, rozwiązując zadanie 2 i 3 w II zestawie. Natomiast jeden z badanych najdłużej rozwiązywał zadanie 1 w zestawie III – zajęło mu to 91 sekund. Na rysunku 2 przedstawiono średnie czasy potrzebne na rozwiązanie kolejnych zadań w zestawach I, II i III.

Krótsze średnie czasy rozwiązywania zadań w zestawie II wynikają z faktu występowania w tekście tylko dwu danych liczbowych. W przypadku zadań w zestawach II oraz III do uzyskania pozytywnego wyniku w kolejnych zadaniach były potrzebne krótsze czasy, co można tłumaczyć nabraniem wprawy w ich rozwiązywaniu. Obrazuje to rysunek 2. Zdarzały się jednak przypadki, gdy uczeń kolejne zadanie rozwiązywał dłużej niż poprzednie.

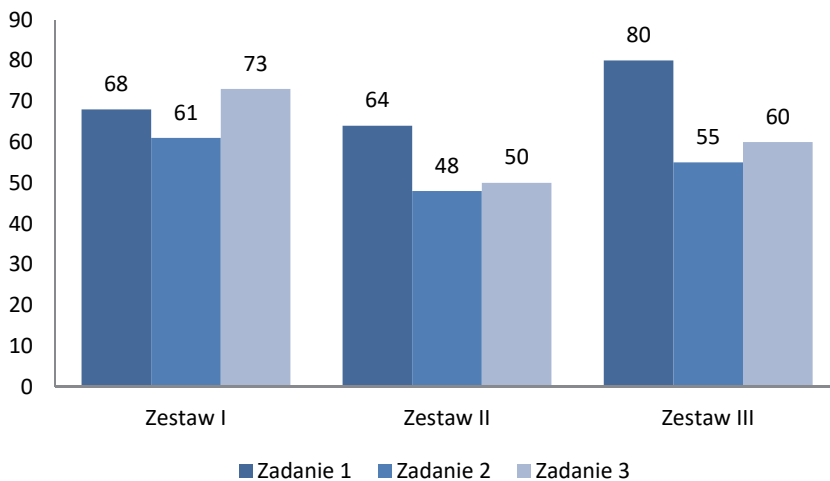


Rysunek 2. Średni czas rozwiązywania zadań w sekundach

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Różna była liczba fiksjacji w analizowanych obszarach. Wahala się ona od 8 w przypadku zdania 3 w zestawie II do 147 w przypadku zadania 1 w III zestawie.

Średnia liczba fiksjacji wykazuje pewne podobieństwo w przypadku rozwiązywania zadań w zestawie II oraz III, co ilustruje rysunek 3. Większą liczbę średnich fiksjacji w przypadku zadania 3 w zestawie I niż w zadaniach 1 i 2 tego zestawu można tłumaczyć konstrukcją zadania. Ogólnie liczba fiksjacji w oznaczonych obszarach jest różna nie tylko w zależności od ucznia, ale też i w zależności od rozwiązywanego zadania.



Rysunek 3. Średnia liczba fiksacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

5. Podsumowanie

Analiza wyników badań wykazała, iż sformułowana hipoteza nie została potwierdzona. Na trzydziścioro uczniów, którzy zostali przebadani, tylko pięcioro rozwiązało wszystkie trzy zadania z zestawu zgodnie z kolejnością danych występujących w tekście. Jedenaścioro uczniów rozwiązało dwa z trzech zadań zgodnie z kolejnością danych. Na trzydzieści przebadanych osób tylko jedna w żadnym zadaniu nie powróciła do jego treści. Szesnaścioro badanych, rozwiązując zarówno pierwsze, drugie, jak i trzecie zadanie, wracało kilka razy do ich treści. Uczniowie w zdecydowanej większości rozwiązywali zadania poprawnie. Tylko czworo z trzydziściorga badanych popełniło błąd w zapisie działania albo w obliczeniach. Pozostałe dwadzieścia sześć osób wykonało zadania bezbłędnie.

Zadania, które uczniowie mieli rozwiązać, były zadaniami zaliczonymi do łatwych. Z podobnymi zadaniami uczniowie mieli do czynienia wielokrotnie w czasie edukacji matematycznej, dzięki czemu posiadali umiejętność ich rozwiązywania. Należy przypuszczać, że na taki wynik mają wpływ style uczenia się oraz posiadany rodzaj inteligencji.

Priorytetem edukacji powinno być dzisiaj motywowanie uczniów do uczenia się i pracy nad sobą, a także wykorzystywanie w procesie uczenia się teorii inteligencji wielorakich. Ważne jest również, aby nauczyciele rozpoznawali style uczenia się uczniów i dostosowywali do nich odpowiednie metody i formy pracy, gdyż każdy uczeń jest inny i w inny sposób może przyswajać wiedzę.

Badania eyetrackingowe pozwalają na dokładniejszą i szerszą analizę postępowania uczniów w czasie rozwiązywania zadań problemowych. Stwarza to nowe możliwości śledzenia procesu wykorzystania przez uczniów posiadanych umiejętności.

Bibliografia

- Błasiak, W. (red.). (2016). *Neuronauka i eyetracking: badania i aplikacje*. Kraków: Wydawnictwo Libron – Filip Lohner.
- Christ, M. (2015). *Indywidualizacja procesu kształcenia uczniów edukacji wczesnoszkolnej*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Dryden, G., Vos, J. (2003). *Rewolucja w uczeniu*. Poznań: Wydawnictwo Zysk i S-ka.
- Grygiel, A., Płusa, S. (2015). Rozwijanie inteligencji wielorakich. W: W. Sikorski (red.). *Neuroedukacja* (s. 103–124). Słupsk: Wydawnictwo Dobra Literatura.
- Karpińska, A. (2007). Neurodydaktyka – perspektywą na sukces w uczeniu (się). W: E.I. Laska (red.). *Nauczyciel między tradycją a współczesnością: teoria i praktyka* (s. 99–107). Rzeszów: Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego.
- Nowakowska-Buryła, I., Joński, T. (2012). Eyetrackingowe badania prezentacji multimedialnych. W: W. Skrzydlewski, S. Dylak (red.). *Media – Edukacja – Kultura. W stronę edukacji medialnej*. Rzeszów: Uniwersytet Rzeszowski.
- Paśko, J.R. (2016). Badania eyetrackingowe w dydaktyce chemii. W: W. Błasiak (red.). *Neuronauka i eyetracking: badania i aplikacje* (s. 123–136). Kraków: Wydawnictwo Libron – Filip Lohner.
- Paśko, J.R., Kamisiński, A. (2011). Program komputerowy pozwalający na badanie wyobrażenia ucznia o strukturze danej substancji chemicznej. W: J. Migdałek, A. Stolińska (red.). *Technologie informacyjne w warsztacie nauczyciela: nowe wyzwania edukacyjne* (s. 181–190). Kraków: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego.
- Paśko, J.R., Rosiek, R. (2014). On using eye-tracking methodology for analysing student's strategy of balancing chemical equations. W: M. Bilek (red.). *Research, theory and practice in chemistry didactics: research and research oriented studies: proceedings of the 23rd International Conference on Chemistry Education* (s. 92–97). Hradec Králové: Gaudeamus.
- Podruczny, R., Jureczko, P. (2015). Edukacja polisensoryczna. W: W. Sikorski (red.). *Neuroedukacja* (s. 69–102). Słupsk: Wydawnictwo Dobra Literatura.
- Sawiński, J.P. (2012). Zasady neurodydaktyki, czyli jak zrozumieć pracę ludzkiego mózgu?. *Dyrektor Szkoły – Akademia zarządzania*, 11, 39–46.
- Sikora, M., Stolińska, A. (2016). Zastosowanie okulografii w badaniach interfejsów użytkownika. W: W. Błasiak (red.). *Neuronauka i eyetracking: badania i aplikacje* (s. 15–41). Wydawnictwo Libron, Kraków 2016.
- Sikorski, W. (red.). (2015). *Neuroedukacja*. Słupsk: Wydawnictwo Dobra Literatura.
- Strelau, J. (red.). (2000). *Psychologia: podręcznik akademicki*. T. 1. *Podstawy psychologii*. Gdańsk: Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- Wawer, R. (2014). *Eyetracking w przestrzeniach edukacji medialnej*. Lublin: Lubelskie Towarzystwo Naukowe.
- Zimbardo, P.G., Gerrig, R.J. (2012). *Psychologia i życie*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Żylińska, M. (2013). *Neurodydaktyka. Nauczanie i uczenie się przyjazne mózgowi*. Lublin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Eye-tracking research on solving mathematical text-based problems

A b s t r a c t: Neurodidactics is a new interdisciplinary research branch dealing with mechanisms of learning and teaching process. Activity of human brain during solving problems, exercises provided in the word-based form is reflected by, among others, movement of eyeballs. Recording of eye movements is, inter alia, conducted by eye tracking (oculography). Just like one can differentiate between various types of intelligence we are able to determine various learning styles. Thus a question arises whether students taught by the same teacher will apply the same sequence of doing mathematical operations or they will rather use figures presented in the task in the order they appear in the text. A research was conducted on a group of 30 students of the fifth grade of primary school. With the use of specially developed software for this study, taking measurements with the application of an eye tracker, eye movement was being monitored while solving a simple maths problem. As a result of the research, a predominant manner of solving basic problems cannot be determined. The same student applied different ways of solving similar tasks.

Key words: eye tracking, learning, solving mathematical problems, monitoring of eye movements, oculography
