

Papier-pióro w wirtualnej przestrzeni

Małgorzata Haller

Czy jest możliwa reaktywacja pisma ręcznego w wirtualnym świecie?

Czy w dzisiejszych czasach, kiedy powszechnie akceptowane jest tweetowanie, esemesowanie, emotikonowanie, rozsyłanie selfie, konieczna jest jeszcze umiejętność ręcznego pisania i odczytywania rękopisów? Przecież wszyscy używają tabletów, notebooków, pecetów, smartfonów wyposażonych w klawiatury realne bądź wirtualne. Komunikujemy się krótkimi tekstami i obrazkami. Potrafimy pisać na klawiaturze – dwoma lub dziesięcioma palcami. A jak długo pamiętamy tak zapisaną treść i czy wiemy, co piszemy? Czy edukacja klawiaturowa ma sens? Czy może powinniśmy dbać o umiejętność ręcznego pisania i ją rozwijać? W tym artykule omawiamy prowadzone badania i ich wyniki oraz prezentujemy pierwszą w Polsce propozycję platformy edukacyjnej bazującej na ręcznym piśmie, zaprojektowaną przez Małgorzatę Haller, prezesa OPPE sp. z o.o.²

Czy efekt informacji zapisywanej ręcznie różni się od efektu informacji zapisywanej klawiaturą?

Prowadzone w kilku ośrodkach uniwersyteckich badania procesu notowania piórem i notowania klawiaturą dowiodły, że skutki stosowania tych obu metod zapisywania notatek są całkowicie

odmienne dla autorów, i to w każdym wieku. Pisanie klawiaturą to w pewien sposób korzystanie z pisma obrazkowego. Pisarz wybiera klawisz z „obrazem litery” i naciska go, by na ekranie pojawiła się litera. Okazuje się, że pisanie z użyciem klawiatury wyłącza obszary mózgu odpowiadające za procesy poznawcze, mimo że sam proces pisania 10 palcami na klawiaturze jest prawie tak szybki, jak mówienie. Jednak zmiana położenia liter na klawiaturze jest w stanie całkowicie zakłócić tak rozumianą umiejętność pisania. Badania wykazały, że notatki sporządzone klawiaturą (pismem obrazkowym) nie są zapamiętywane zbyt trwale przez autorów. Pisanie ręczne to zapis liter, słów i zdań piórem poprzez zmieniające się ciągi gestów wykonywanych dłońią. Gesty nie zależą ani od podłoża ani od trzymanego palcami urządzenia, które zostawia ślad, np. pióro, patyk, kamień, kreda, rysik itp. Zmiana urządzenia piszącego czy też podłoża nie zakłóca umiejętności pisania ręcznego, gdyż źródło liter jest w mózgu. Tworzenie rękopisu bardzo mocno absorbuje mózg. Takie notowanie wymaga od człowieka wyzwolenia równoległe trzech różnych procesów: motorycznego, wizualnego i poznawczego.

- Proces motoryczny to umiejętność odpowiedniego trzymania pióra, wykonywania gestów tak, by pióro pozostawiło widzialny napis na podłożu i nie zostało uszkodzone np. złamane w wyniku zbyt silnego nacisku lub uchwytu albo nie wypadło z dłoni w wyniku zbyt słabego uchwytu lub zbyt zamasztych gestów.

² www.edukacja.oppe.pl

- Proces wizualny to obserwowanie oczami stworzonych napisów w postaci liter, znaków, słów i zdań, weryfikacja położenia tekstu, ocena zgodności napisu z utrwalonym obrazem.
- Proces poznawczo-spostrzegawczy to zapamiętywanie przez mózg stworzonych ręcznie napisów w celu ich późniejszego odtworzenia oraz wytwarzanie przez mózg nowych myśli – nowych napisów, to rozumienie sensu tekstu.

Jak widać tworzenie rękopisu to dość złożona czynność umysłowa powstająca jako efekt skoordynowanych działań trzech organów: ręki, oka i mózgu. Synergia działań tych narządów powoduje, że treści zapisane ręcznie są zapamiętywane na długo. Umiejętność ręcznego pisania umożliwia rozwój myślenia zarówno sekwencyjnego, jak i abstrakcyjnego.

Co jest bardziej efektywne: maszynopis czy rękopis?

Badanie studentów

Badania Pam A. Mueller z Uniwersytetu Princeton i Daniela M. Oppenheimera z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles na grupie studentów wykazały nietrwałość i niską jakość wiedzy zanotowanej klawiaturą w porównaniu do wiedzy zanotowanej ręcznie.

W badaniu brały udział różne grupy studentów podzielone na dwie części. Jedna notowała wykład za pomocą klawiatury – to tzw. „klawiszowcy”, a druga robiła notatki ręcznie – to „rękopisarze”. Bezpośrednio po wykładzie obie grupy studentów miały podjąć dyskusję o przedmiocie wykładu. Porównanie wiedzy zapamiętanej przez obie grupy studentów przyniosło dość zaskakujące obserwacje: „klawiszowcy” nie byli w stanie uczestniczyć w dyskusji, choć zapisali wykład prawie słowo w słowo. Ich mózgi w jakiś sposób koncentrowały się wyłącznie na manualnej czynności klikania w klawisze klawiatury, a nie na zapamiętaniu pisanej treści. „Rękopisarze” natomiast dużo mniej zanotowali. Ich notatki były zrobione dużo mniejszą liczbą

słów i prezentowały skompilowaną treść wykładu. Jednakże byli świetnie zorientowani w jego temacie. Pisząc ręcznie notatki z wykładu, robi się to dużo wolniej. Nie nadąża się więc z zapisywaniem każdego usłyszanego słowa. Chcąc nie chcąc, „rękopisarze” musieli analizować to, co słyszeli, robić tego syntezę i dopiero takie streszczenie zapisywać. To spowodowało głębokie przetwarzanie informacji i lepsze jej zapamiętywanie – tłumaczą psychologowie na łamach pisma „Psychological Science”.

Czy ręczne pisanie to skuteczne nauczanie?

Badanie dzieci przedszkolnych

W 2012 roku Stanowy Departament Edukacji stanu Indiana w USA i na Hawajach dał szkołom wolną rękę w kwestii nauczania pisania ręcznego. Naukę kaligrafii mogły zastąpić lekcje szybkiego pisania na klawiaturze. Nikt z urzędników nie rozważył skutków społecznych przestania uczenia kaligrafii na rzecz maszynopisania. Nie pomyślano o negatywnych skutkach, takich jak analfabetyzm czy osłabienie czynności umysłowych w całym pokoleniu, aż do czasu prezentacji wyników badań dr Karin Jones z Indiana University w USA.

Dr Jones prowadziła badania aktywności mózgowi dzieci w wieku przedszkolnym, chcąc poznać, czy istnieją różnice w nauczaniu liter różnymi metodami: ręcznego pisania oraz klawiaturowego pisania. Do celów badawczych wykorzystano nieinwazyjną technikę obrazowania pracy mózgu. Pozwoliło to na obserwacje i rejestrację aktywności mózgu oraz na wskazanie obszarów mózgu aktywizujących się podczas różnych metod nauczania.

Jeden z takich eksperymentów poznawczych przeprowadzono na dwunastoosobowej grupie cztero- i pięcioletków. Ich mózgi były skanowane podczas procesu poznawania liter. Dzieci zostały podzielone na dwie grupy. Jedna z grup była uczona liter metodą wizualnego rozpoznawania, a druga – metodą ręcznego pisania. Praca mózgowi dzieci uczących się liter ręcznie była bardzo aktywna w trzech obszarach. Natomiast aktywność mózgowi, rejestrowana w grupie dzieci uczących się liter poprzez wizualną obserwację

i zapamiętanie, była dużo niższa. W innym eksperymencie dzieci w wieku przedszkolnym, które nie umiały pisać ani czytać, otrzymały zadanie polegające na pisaniu liter. Podczas tego badania praca mózgowi wszystkich dzieci była rejestrowana przez rezonans magnetyczny. Dr Jones podzieliła dzieci na trzy grupy badawcze. Jedna grupa miała przepisywać litery z obrazka na czystą kartkę. Druga grupa miała pisać litery po naniesionym na kartce śladzie. Trzecia grupa uczyła się pisać litery, mając do dyspozycji klawiaturę komputera. Okazało się, że kiedy dzieci samodzielnie pisały litery na czystej kartce, w ich mózgowi działo się najwięcej. Aktywizowały się trzy obszary mózgu:

- lewy zakręt wrzecionowaty - część mózgu odpowiedzialna za rozpoznawanie twarzy oraz ich wyrazu emocjonalnego i specyficzne przetwarzanie informacji leksykalnej potrzebne przy czytaniu,
- zakręt czołowy dolny, w którym jest ośrodek ruchowy mowy,
- tylna kora ciemieniowa odpowiedzialna za orientację przestrzenną.

Piki aktywności tych samych trzech obszarów mózgowi dzieci, które uczyły się pisać litery, wodząc piórem po śladzie, były mniej aktywne. Natomiast aktywność mózgowi dzieci klikających litery na klawiaturze była bardzo niska.

Badania dzieci w wieku szkolnym

Podobne wyniki otrzymał M. Naka w swoich badaniach realizowanych na japońskim Uniwersytecie Chiba. Naukowiec odkrył, że w pierwszej, trzeciej i piątej klasie japońskie dzieci szybciej uczyły się znaków logograficznych i zagranicznych słów poprzez ręczne przepisywanie niż tylko poprzez wizualne ich rozpoznawanie. Wniosek jest jasny: bardziej uciążliwe i absorbujące mózg ręczne pisanie odciska głęboki ślad w pamięci i dłużej w niej pozostaje niż prosta czynność klikania – uderzania palcami w klawisze z obrazami liter.

Odwrót od pisma obrazkowego?

Jeśli chcemy rozwijać nasz ludzki intelekt, musimy pielęgnować od dziecka umiejętność ręcznego pisania, podczas gdy pismo ręczne ma unikatowy, pozytywny wpływ na rozwój mózgu, niestety czas przeznaczony w szkole na naukę ręcznego pisania staje się coraz krótszy. Nauczyciele powszechnie akceptują zaświadczenia o dysleksji i dysgrafii bez żadnej refleksji i bez podjęcia próby zniwelowania tych dysfunkcji. A przecież dzieci, które uczone są pisania wypracowań ręcznie, piszą lepsze wypracowania niż te, które robią to za pomocą klawiatury. I nie o sam proces wytwarzania napisów tu chodzi, ale o wymyślenie struktury i wypowiedzi, o nadanie jej formy. - Czynność zapisu jest wprawdzie wolniejsza, ale usprawnia myślenie - uważa prof. Virginia Berninger z University of Washington zajmująca się psychologią edukacji. Stąd mądrość nauczycieli, którzy zachęcają, by uczyć się do klasówek, robiąc odręczne ściągki, gdyż już na etapie ich tworzenia uczniowie przyswajają wiedzę. Przekształcenie myśli czy idei w znak graficzny, którego zapisanie wymaga od nas uwagi i fizycznego wysiłku sprawia, że lepiej zapada nam ona w pamięć – więcej neuronów w mózgu musi sprząć się wokół powstania takiej pisemnej informacji.

Technologia pisma ręcznego

Mimo szybkiego tempa rozwoju technologii cyfrowych nie należy zbyt szybko wyrzucać papieru i pióra do lamusa. Co prawda od kilku dziesięcioleci komunikacja ze światem wirtualnym jest możliwa wyłącznie poprzez klawiaturę, ale to dość nienaturalny sposób dla człowieka. Od kilku lat prowadzone są badania nad inną formą komunikacji z aplikacjami komputerowymi. Powstała technologia przyjazna człowiekowi, bazująca na ręcznym piśmie. Jej funkcjonowanie zapewniają trzy elementy: urządzenie ICT, aktywne podłoże i interfejs – PAPUI (**Pen And Paper User Interface**). Stało się możliwe przesyłanie umieszczonego na kartce pisma ręcznego wprost do aplikacji komputerowej. Funkcja przechwytywania przez urządzenie ICT ręcznego pisma z rzeczywistego podłoża i umieszczania go w przestrzeni wirtualnej to prawdziwa rewolucja. Taką bezpośrednią (z pominięciem klawiatury) komunikację z kartki

do aplikacji komputerowej umożliwiają rozwijane od niedawna badania nad ikonami nadrukowanymi na kartce. Pozwalają one człowiekowi na komunikację ze światem wirtualnym za pomocą pióra bez desktopu. Te aktywne ikony uruchamiają różne funkcje w aplikacji komputerowej, jeśli tylko długopis je „zauważy”. W praktyce oznacza to, że użytkownik długopisem dotyka symbolu obrazującego ikonę. Te aktywne pola przejmują funkcję klawiszy komputera oraz poleceń z rozwijanych okien na ekranie, które standardowo obsługiwane były myszką lub klawiaturą. To całkowita nowość. Wystarczy dotknąć nadrukowanej ikony na kartce, by uruchomić np. moduł bluetooth i wystać notatki wykonane długopisem do aplikacji. Ikony nadrukowane na pasywne pady zdalnie obsługują funkcje przypisane do tablicy interaktywnej.

Interaktywna edukacja nowej generacji

Od prawieków w szkołach na całym świecie uczniowie i nauczyciele posługiwali się piórem ręcznym jako najskuteczniejszym narzędziem edukacyjnym. Rewolucja cyfrowa doprowadziła do pojawienia się pomysłów, by zrezygnować z umiejętności ręcznego pisania na rzecz umiejętności szybkiego bezwzrokowego pisania klawiaturowego. Uważano, że taka „innowacja” rozwiąże problem szybkiej edukacji. Jak wskazały badania, był to ślepy zaułek. Rozpoczęły się poszukiwania innych narzędzi edukacyjnych umożliwiających przyswojenie wielu więcej informacji w dużo krótszym czasie. Technologia digital pen&paper oraz interfejsy PAPUI umożliwiły zaprojektowanie wyspecjalizowanej platformy edukacyjnej w oparciu o ręczne pismo, którego znajomość jest bardzo ważna dla prawidłowego rozwoju mózgu dzieci.

Dzięki piórom cyfrowym w dłoniach uczniów i nauczycieli przepaść dzieląca pismo ręczne od aplikacji użytkowych została pokonana. Można sobie wyobrazić, że zadania zapisywane cyfrowym piórem z zeszytu ucznia są przesyłane do aplikacji nauczyciela, która umożliwia kontynuowanie edukacji już w świecie wirtualnym? Edukacja interaktywna bez pracowni komputerowych - tylko pióra, zeszyty, tablica? Powrót do przeszłości, ale w innym wymiarze.

Komputer w dłoń

Pióro cyfrowe wygląda i na pierwszy rzut oka działa jak klasyczny długopis. Jest to jednak zaawansowane technologiczne, w pełni programowalne urządzenie komunikacyjne ICT. Pióro może pisać widzialnym atramentem na kartce papierowej lub „pisać” atramentem elektronicznym na tablicy. Jaki ślad zostawia pióro, zależy od modelu i podłoża, na którym ma być używane. Klasyczne pióro ma wymienny wkład atramentowy, a cyfrowy pisak do tablicy ma wymienny stylus bez tuszu. Obudowa pióra cyfrowego nie odbiega od standardowej, z jednym wyjątkiem – znajdują się na niej diody informujące o statusie urządzenia. Wewnątrz obudowy zostały umieszczone różne elektroniczne podzespoły, m.in. takie jak programowalny mikroprocesor, pamięć pozwalająca na gromadzenie ręcznie pisanych informacji, akumulator czy kamera obserwująca położenie stalówki na podłożu i sczytująca napisy, moduł bluetooth oraz wiele innych. To jest prawdziwy komputer zamknięty w obsadce pióra, który rewolucjonizuje edukację.

Papier uwalnia od klawiatury

Stosowanym przez platformę podstawowym podłożem jest papier biurowy, powszechnie używany do kopiowania lub drukowania. Z takiego papieru są wykonane zeszyty i na nim drukowane są materiały edukacyjne. Papier ten zamienia się w podłoże współpracujące z piórem cyfrowym. Przygotowane przez nauczyciela materiały dydaktyczne lub notatniki mogą być używane poza szkołą, w terenie, bez Internetu. Innym podłożem może być folia wielowarstwowa suchościerna pokryta unikatowym nadrukiem. Wykonana z niej mata o wadze około 300 gramów umieszczona na zwykłej tablicy szkolnej zamienia ją w tablicę interaktywną pracującą w świecie wirtualnym i rzeczywistym. Panel dotykowy o wielkości A4 umożliwia komunikację z tablicą interaktywną z dowolnego miejsca w sali lekcyjnej, z ławki, zza biurka, twarzą do klasy. Jeszcze inny typ podłoża umożliwia powstanie poziomej płaszczyzny interaktywnej bez monitora LCD. Każde podłoże umożliwia indywidualną lub zespołową edukację bazującą na ręcznym pisaniu czy też rysowaniu. Pisanie musi odbywać się piórami cyfrowymi zintegrowanymi z aplikacją

INSPIRIA. Informacja z podłóża jest bowiem sukcesywnie gromadzona w pamięci pióra i przestana do aplikacji nauczyciela.

Aplikacja – wsparcie dla nauczyciela

Informacja odręcznie notowana w papierowym zeszytce lub dzienniku jest zapisywana równolegle w formie elektronicznej w aplikacji, która poprzez funkcję odczytu i walidacji pisma odręcznego umożliwia konwersję stworzonej odręcznie notatki na informację cyfrową. Aplikacje użytkownika służą różnym celom i zadaniom edukacyjnym. Pozwalają na pobieranie informacji graficznej i jej przetwarzanie cyfrowe wg potrzeb użytkownika. Interakcja pomiędzy uczniem a edukacyjną aplikacją jest całkowicie nową motywacją do ćwiczenia kaligrafii, stymulującą pracę mózgu. Warto podkreślić, że aplikacje nie wymagają ani wielotygodniowych męczących szkoleń, ani zapamiętywania rozbudowanych instrukcji czy procedur.

Przykłady zastosowań

Edukacja piórem cyfrowym w klasie

W klasie używającej platformy edukacyjnej INSPIRIA każdy uczeń zostaje wyposażony w pióro cyfrowe i zeszyt interaktywny oraz pomoce dydaktyczne opracowywane i drukowane przez nauczyciela, adekwatnie do omawianej partii materiału. Sala jest wyposażona w tablicę interaktywną. Każdy uczeń robi notatki i rozwiązuje zadania w świecie realnym, korzystając z tradycyjnej funkcji długopisu, natomiast przesyłając je do aplikacji nauczyciela, korzysta z funkcji elektronicznych pióra.

Notatki uczniów z zeszytów lub kart dydaktycznych, trafiając do aplikacji, umożliwiają nauczycielowi ocenę sposobu myślenia każdego z uczniów oraz wyświetlenie wybranej pracy na tablicy interaktywnej, by omówić ją na forum klasy.

Uczniowie poznają różnorodność sposobów rozumowania, które były do tej pory ukryte w zeszytach kolegów i mogą porównać ją ze swoimi pomysłami. Nauczyciel może zrobić pisemną korektę

omawianego rozwiązania na interaktywnej tablicy i zapamiętać je jako jeden plik.

Podczas lekcji nauczyciel może zlecać pisemnie na tablicy interaktywnej wykonanie przez uczniów krótkich zadań w zeszytach. Platforma pozwala na łatwą cyfryzację notatek ręcznie zapisywanych zarówno indywidualnie, jak i zespołowo. Zadania odrobione w zeszytce mogą być współdzielone *online* z nauczycielem. Udostępnianie *online* (nie przesyłanie emailem) prac i notatek powoduje, że nauczyciele i uczniowie, mając wspólny dostęp do materiałów, mogą je przeglądać gdziekolwiek i kiedykolwiek. System ułatwia personalizowanie edukacji uczniów poprzez łatwe adresowanie określonych zadań do konkretnego ucznia. W tradycyjnej klasie nauczycielowi bardzo trudno jest zająć się uczniami wymagającymi indywidualnego podejścia. Wszystkie prace lekcyjne lub domowe uczniów mogą być przechowywane w formie elektronicznej, umożliwiając nauczycielom i rodzicom łatwiejszy monitoring postępów edukacyjnych dziecka oraz jego ocenę.

Cyfrowe sprawdziany pisane długopisem

INSPIRIA eliminuje problemy techniczne pojawiające się podczas korzystania ze słabych komputerów i pracy w powolnym Internecie. Uczniowie, rozwiązując zadania, używają cyfrowego długopisu i zeszytu w sposób tradycyjny, jednak niewidocznie działają w przestrzeni wirtualnej. Ponadto nie muszą rozwiązywać sprawdzianów elektronicznych, siedząc przed monitorem komputera w pracowni komputerowej. Sprawdziany czy kartkówki mogą pisać praktycznie wszędzie, tak długo, jak długo mają dostęp do papieru i cyfrowego pióra, weryfikacja stanu ich wiedzy i tak odbywa się w sposób wirtualny.

Aplikacja przechowuje przygotowane sprawdziany w e-katalogach. Są one porządkowane wg przedmiotów, tematów, skali trudności. Nauczyciel po wybraniu formularza sprawdzianu drukuje go lokalnie i rozdaje wraz z długopisami uczniom na lekcji. Wydrukowany na papierze formularz po wypełnieniu przez ucznia staje się e-sprawdzianem, czyli nośnikiem jego stanu wiedzy na daną chwilę.

Po zakończeniu przez uczniów pisania e-sprawdzianu, pióro cyfrowe przesyła do aplikacji rozwiązania, a aplikacja automatycznie je ocenia. Koniec ze żmudnym sprawdzaniem, podliczaniem punktów i noszeniem setek prac klasowych. System zawiera funkcje oceny zarówno kontekstowej, jak i bezkontekstowej. Aplikacja zapamiętuje sprawdziany uczniów w repozytorium oraz w portfolio edukacyjnym uczniów. Dzięki tej funkcji nauczyciel czy wychowawca bardzo łatwo formułuje ocenę opisową i przeprowadza ewaluację postępów edukacyjnych uczniów w danym okresie, np. roku lub semestru. Platforma umożliwia też zarządzanie sprawdzianami i klasówkami czy egzaminami, których formularze nauczyciel może samodzielnie stworzyć w systemie lub wprowadzić do systemu z innego źródła. System przechowuje formularze sprawdzianów oraz zapamiętuje zestawy zadań w bazie sprawdzianów.

Moduł cyfrowego dziennika

Cyfrowy dziennik ma hybrydową naturę, zgodnie z wymaganiami technologii p&np. Papierowa postać dziennika jest formą interfejsu umożliwiającego wprowadzanie danych edukacyjnych do aplikacji poprzez długopis ICT, który nie wymaga w sali lekcyjnej Internetu. Nauczyciel ma szybki dostęp do informacji o każdym uczniu w tradycyjny sposób, czyli do wersji papierowej, ale równocześnie działa w przestrzeni wirtualnej. Korzystanie z cyfrowego dziennika INSPIRIA nie zmienia tradycyjnej pracy nauczyciela z dziennikiem. Nauczyciel nadal wpisuje piórem (cyfrowym) informacje do dziennika papierowego, a zapisane tak informacje są rozsyłane do aplikacji w miejsca właściwe dla oddziałów danej szkoły. Eliminujemy zbędne powielanie informacji oraz zapisujemy dane w tradycyjnej formie na wypadek zgubienia danych z bazy. Aplikacja automatycznie zamienia ręczne wpisy w dzienniku w ich elektroniczną postać. Zdalny dostęp do informacji w e-dzienniku mają też rodzice. Oczywiście cała statystyka jest liczona automatycznie. Moduł cyfrowego dziennika umożliwia szybkie i skuteczne prowadzenie elektronicznego dziennika zgodne z obowiązującymi przepisami prawa. Trzeba podkreślić, że proces powstawania elektronicznej wersji materiałów edukacyjnych jest nieodczuwalny dla nauczyciela. Platforma INSPIRIA łączy same korzyści z obu światów: wirtualnego i realnego.

Bibliografia

1. Brooks A., Berninger V., Abbott R., Richards T. *Letter naming and letter writing reversals of some children with dyslexia: Symptoms of inefficient phonological and orthographic loops of working memory?* *Developmental Neuropsychology* nr 36/2011, s. 847-868.
2. Haller de Hallenburg M. *C-dziennik nowej generacji*, Przewodnik Dyrektora Szkoły 2015/2016, Forum Media Polska sp. z o.o., s. 59.
3. Haller de Hallenburg M. *Pismo ręczne w cyfrowym świecie*, Przewodnik Dyrektora Szkoły 2015/2016, Forum Media Polska sp. z o.o., s. 27.
4. Haller de Hallenburg M. *Rewolucja w Edukacji. Cyfrowa technologia pen&paper. Pismo ręczne – reaktywacja*, Monitor Dyrektora Szkoły nr 51/2015, Forum Media Polska sp. z o.o., s. 11.
5. James K.H., Engelhardt L. *The effects of handwriting experience on functional brain development in per-literate children*, *Trends in Neuroscience and Education* Volume 1/2012, Issue 1, s.32-42.
6. Mueller P.A., Oppenheimer D.M. *The Pen Is Mightier Than the Keyboard: Advantages of Longhand Over Laptop Note Taking*, *Psychological Science* 2014.
7. Naka M. *Repeated writing facilitates children's memory for pseudocharacters and foreign letters*. *Memory & Cognition*, *Psychonomic Society* Volume 26/1998, Issue 4, s. 804-809.
8. Steimle J. *Pen-and-Paper User Interfaces: Integrating Printed and Digital Documents*, Springer Science & Business Media, 2012.
9. www.edukacja.oppe.pl

Małgorzata Haller jest prezesem zarządu firmy OPPE sp. z o.o., jednostki technologiczno-badawczej specjalizującej się w obiektowym projektowaniu platform elektronicznych. W oparciu o koncepcję środowiska elektronicznego „invisible computing” zostały zaprojektowane unikatowe aplikacje edukacyjne, umożliwiające zamianę odręcznego pisma, nanoszonego długopisem cyfrowym na kartkę, w informację elektroniczną.