

## **Jak ulepszyć proces uczenia się i poprawić system edukacji – myśli zebrane z międzynarodowych konferencji**

### **Wstęp**

Uczestnicząc w wielu różnorodnych konferencjach (zarówno naukowych, jak i bardziej komercyjnych), często mam okazję usłyszeć o niszowych badaniach, które – najwyraźniej w masowo – wykonywane są w instytutach naukowych, czy na wyższych uczelniach. Mnóstwo z tych badań, czy teorii wydaje się (przynajmniej z praktycznego punktu widzenia) kończyć swój żywot na konferencji, gdzie ujęte zostają w publikacje lub podsumowanie imprezy i nikt więcej w zasadzie do nich już nie dociera. Z moich obserwacji wynika, że daleko nam jeszcze do połączenia świata nauki ze światem praktyki. Niestety, w edukacji, takie podejście równoznaczne jest z bardzo istotnym zahamowaniem jakiegokolwiek postępu. Stąd też chyba bierze się fakt, że po jakimś czasie bywalcy konferencji stwierdzają, że od lat mówi się na tych wydarzeniach o tym samym i od lat przyjeżdżają te same osoby i... nic się nie zmienia.

Postanowiłam więc spojrzeć bardziej holistycznie na wszystkie konferencje, nie rozdzielać środowisk praktyków od środowisk naukowców i skupić się na scaleniu twierdzeń oraz podejść, które są ze sobą związane. Tematem przewodnim referatu będą narzędzia technologiczne, których użycie pozwoli na uproszczenie i ułatwienie procesu uczenia się oraz na zwiększenie jego efektywności i zbliżenie do naturalnych predyspozycji człowieka.

Konferencje, które wzięłam pod uwagę opracowując poniższy tekst, to: "Learning Without Frontiers" w Londynie 2012, "Ireland International Conference on Education" w Dublinie 2012, "Future of Education" we Florencji 2012, "EduTech" w Australii 2012, "World Conference on Computers in Education" w Toruniu 2013, "Personal Learning Environment" w Berlinie 2013 oraz "International Conference on Thinking" w Londynie 2012.

W opracowaniu omówię następujące problemy, pomysły i teorie:

1. Przekwalifikowanie bibliotekarzy do przekazywania uczniom i studentom umiejętności związanych z informacją, cyfryzacją, mediami, obiektami wizualnymi oraz danymi.
2. Zaprzestanie uczenia działań i czynności, które z łatwością mogą być wykonane przez komputer, a których umiejętność w żaden sposób nie przekłada się na rozwiązywanie problemów w świecie rzeczywistym.
3. Wykorzystanie narzędzi technologicznych do łączenia dyscyplin i umiejętności oraz do uczenia interdyscyplinarnego.
4. Rola przestrzeni i architektury wnętrza (dopasowanej do technologii) w procesie uczenia się.
5. Wykorzystanie badań naukowych do odpowiedzi na konkretne, bardziej szczegółowe pytania praktyków, dotyczące wykorzystania komputerów w nauce.

## **1. Bibliotekarze w nowej funkcji**

Rola bibliotekarzy w wielu krajach sprowadza się do dosyć biernego uczestnictwa w procesie uczenia się, ograniczonego jedynie do wskazywania uczniom i studentom miejsca, w którym można znaleźć konkretną informację. Biorąc pod uwagę przeładowanie informacyjne i brak umiejętności poruszania się wśród nich, niemożność dokonania oceny ich wiarygodności oraz zwiększająca się ilość bodźców wizualnych, które niezwykle silnie oddziałują na nasze zmysły, od dawna już mówi się o konieczności edukowania młodych ludzi w szkołach w tym kierunku. Nauczenie się uczenia zależy od wielu – dotychczas zaniedbywanych – umiejętności, takich jak umiejętność odczytywania informacji wizualnych, myślenie wizualne, interpretacja informacji, ocena jej wiarygodności oraz skutków, umiejętność zbierania, klasyfikowania oraz odczytywania danych, radzenie sobie z różnorodnością mediów i ich przekazem oraz świadome i umiejętność korzystanie z narzędzi cyfrowych. Tych wszystkich umiejętności uczniowie uczą się obecnie właściwie sami. Nauczyciele nie są przygotowani do ich przekazywania, z reguły nie mają też na to czasu. Na domiar złego, powstaje pewnego rodzaju przeświadczenie, że młodzi ludzie z racji tego, że są cyfrowymi tubylcami, bez problemu z tego typu umiejętnościami sobie poradzą. Jest to założenie błędne – cyfrowi tubylcy są w większości przypadków nadal cyfrowymi analfabetami. Na dodatek rzadko mogą liczyć w tej kwestii na pomoc rodziców. Stąd tak istotna jest tu pomoc ze strony szkoły. Wydaje się, że wykształcenie tych umiejętności jest obecnie najistotniejsze. Trudno się ich bowiem będzie nauczyć gdzie indziej [zob. m.in. Robinson, 2013].

Współczesna rola bibliotekarzy w dobie cyfryzacji katalogów, książek i czasopism stawiana jest pod znakiem zapytania. Alison Hicks przedstawiła na konferencji PLE w Berlinie 2013 bardzo ciekawy przykład, w którym to ona jako bibliotekarka, podjęła się projektu związanego z wyszukiwaniem informacji w świecie cyfrowym i przygotowania studentów do przedstawienia wyników własnych badań przeprowadzonych przy użyciu najnowszych narzędzi [Hicks, 2013].

## **2. Wykorzystanie komputerów i Internetu do zwiększenia efektywności myślenia**

Czy w życiu codziennym przydaje się dzielenie ułamków? Czy to, że każdy jeździ samochodem oznacza, że powinniśmy uczyć wszystkich budowy silnika i jego naprawy? Na te pytania większość z nas z łatwością odpowie „nie”. A jednak, gdy przyjrzymy się obecnym lekcjom matematyki, to zauważymy, że oparte są one właśnie na takich, często już nieprzydatnych, podstawach. Co gorsza, podstawy te nauczane są w sposób rutynowy, niewyzwalający wśród uczniów żadnych nowych procesów myślenia. Nie dają też podstaw do użycia zdobytych informacji do nowych problemów, które sformułowane zostaną w inny, mniej standardowy sposób.

Marjorie Rhodes przedstawiła w Londynie wyniki testu, w którym zarówno dzieci, jak i dorosłych zapytano, ile kosztuje piłka, jeśli piłka i kij baseballowy kosztują razem 1,10 \$ a kij jest o 1 \$ droższy niż piłka. Przytłaczająca większość respondentów odpowiedziała – 10 centów, podczas gdy prawidłową odpowiedzią jest 5 centów [Rhodes, 2013]. Przyczyny szukano w złym zrozumieniu pytania. Wynikało ono najprawdopodobniej ze schematów

myślenia, do których zostaliśmy przyzwyczajeni. Problemy przedstawiane w szkole są problemami skonstruowanymi w sposób idealny – zadania zawierają w sobie wszystkie dane i trzeba tylko je wpasować w przedstawioną na lekcji formułę. Tymczasem życie wymaga rozwiązywania problemów, w których często brakuje danych, możliwe są różne rozwiązania i konieczne jest branie pod uwagę dodatkowych okoliczności. Kompleksowe myślenie jest obecnie jedną z najbardziej pożądanых umiejętności, a rozwiązywanie rzeczywistych, często skomplikowanych problemów jest absolutną koniecznością w naszym zglobalizowanym świecie. Michael O Duill podał z kolei przykład dzieci, które bezbłędnie dodają 2 do 3, gdy mają do czynienia z cyframi, nie potrafią jednak wykombinować tego, że klocek z 5 pinami może zostać zastąpiony przez 2 inne (z 2 i 3 pinami) [O Duill, 2013, s. 9-15].

Dale S. Niederhauser, Craig A. Ogilvie oraz Serkan Toy w swojej publikacji stwierdzili, że przyzwyczajeni do tradycyjnie sformułowanych problemów studenci, którym przedstawiono „źle sformułowane” zadania (czyli nie zawierające wszystkich danych), mieli ogromne problemy z ich rozwiązaniem, spędzając większość czasu na poszukiwaniu gotowych wzorów, zamiast szukać strategii i odpowiednio zaplanować działania [Niederhauser i in., 2013, s. 38-44].

Matematyka w szkole wydaje się być całkowicie odseparowana od matematyki świata rzeczywistego. Conrad Wolfram od dawna już przestrzega przed ograniczaniem matematyki w szkołach do obliczeń, podkreślając, że ta część matematyki może z powodzeniem zostać zastąpiona przez komputery, które nadają się do tego idealnie. To, czego natomiast brakuje w edukacji, to uczenie zadawania odpowiednich pytań, odnoszenia się do problemów rzeczywistych i przekształcania ich w formuły matematyczne oraz weryfikacji obliczeń poprzez ponowne odwrócenie wzorów i odniesienie ich do rzeczywistości [Wolfram, 2013].

Kolejną umiejętnością, na którą kładziony jest duży nacisk w szkole jest pisanie ręczne. Pomimo tego, że jest ono coraz rzadziej wykorzystywane poza szkołą, że deformuje nam często palce i zniechęca wiele dzieci do nauki, umiejętność ta jest jedną z podstawowych we wczesnej edukacji. Na targach „London Book Fair” zapoznałam się z badaniami, jakie przeprowadzono w Szwecji, zezwalając dzieciom na pisanie wyłącznie na klawiaturach komputerowych. Wyniki były niezmiernie zachęcające – dzieci piszące przy użyciu technologii nie tylko poprawiły swoje umiejętności czytania, ale pisały też dłuższe teksty, lepiej rozwinięte składniowo i z bardziej wyszukany słownictwem [<http://writereaderapp.pressdoc.com/44986-swedish-research-shows-how-using-ict-can-improve-literacy-skills>, 2013]. Celem badania nie było wykazanie wyższości pisania na komputerze nad pisaniem ręcznym. Wyniki pokazały, że brak konieczności przywiązywania uwagi do wyglądu tekstu, znacząco poprawił sam proces uczenia się.

Na konferencji WCCE w Toruniu przywołałam te wyniki w dyskusji z Michałem O Duill'em, który prezentował 15-letnią praktykę wykorzystywania komputerów w bułgarskich szkołach podstawowych [Iliev, Doyle, 2013, s. 1-7]. Zwrócił on moją uwagę na dodatkową kwestię. Otóż, pisanie ręczne wymaga przypomnienia sobie kształtu i sposobu pisania każdej litery, podczas gdy pisanie na klawiaturze wymaga jedynie rozpoznania litery, którą zamierzamy użyć. W konsekwencji uwolnione zostają zasoby

poznawcze, które mogą zostać wykorzystane do innych celów. Przypomina to bardzo efekty użycia kalkulatorów, które – wbrew obawom wielu – sprawiły, że ludzie byli w stanie przeprowadzać coraz to bardziej skomplikowane obliczenia, mogąc skupić się na ich istocie, zamiast przechowywać kolejne wyniki w pamięci roboczej.

Michael O Duill podawał wiele przykładów zastosowania technologii informacyjnych do poprawy procesu myślenia, zwiększenia kreatywności i zrozumienia, jak produktywnie można wykorzystać narzędzia technologii informacyjnej. W opisanej przez niego praktyce, komputery nie są celem samym w sobie, a wykorzystywane są jako środek do celu. Jako medium, które ułatwia skoncentrowanie się na kreatywności, wyrażanie własnych idei, zobrazowanie pojęć matematycznych oraz zrozumienie przedstawianych problemów.

### **3. Interdyscyplinarność**

O konieczności odejścia od sztucznego podziału na przedmioty mówi się już od dawna. Jednak z tak mocnym połączeniem dyscyplin, technologii, potrzeb specjalnych oraz procesu uczenia się zetknęłam się po raz pierwszy w Dublinie, podczas prezentacji prof. Lizbeth Goodman. Przedstawiła ona kilka ze swoich projektów łączących taniec, interakcję i komunikację z edukacją, uwzględniając w tym wszystkim naturę ludzką i jej potrzeby. Co ciekawe, w rozmowie ze mną podkreśliła częściowe oderwanie swoich badań od typowych zasad, którymi rządzi się środowisko akademickie. Lizbeth Goodman stara się adresować rzeczywiste problemy, z którymi borykają się ludzie. Podczas prezentacji podkreślała wagę włączania całego ciała i jego ruchu do procesu uczenia się [Goodman, 2013]. Podobny był przekaz warsztatów prowadzonych na tej samej konferencji, gdzie podkreślano fakt, iż uczymy się przy użyciu całego ciała, a np. techniki teatralne tylko te umiejętności zwiększają, pogłębiając percepcję i umożliwiając zrozumienie otaczającego nas świata [Duffy, 2012].

Zupełnie innym przykładem interdyscyplinarności była prezentacja wyników badań Jenny Wright, w których pokazana została korelacja pomiędzy rysunkiem i zdolnościami artystycznymi, a medycznymi umiejętnościami dentystów! Badania te były częścią większego projektu dotyczącego nowego sposobu edukacji dentystów, opartego na stworzeniu cyfrowego środowiska dotykowego. Pierwsze wyniki badań wykazały powiązanie umiejętności rysunkowych z umiejętnościami radzenia sobie z leczeniem zębów. Nie było jeszcze jasne, czy samo poprawienie umiejętności rysunkowych wywołałoby wpływ na profesjonalizm leczenia. Jasne jednak było, że osoby bardziej kreatywne (artystycznie) okazywały się być bardziej precyzyjnymi dentystami. Badanie jest nadal w toku [Wright i in., 2013].

Odwiedzając szkołę w Brisbane miałam z kolei możliwość zaobserwowania połączenia edukacji technicznej z edukacją ogólną. Myśl przewodnią towarzyszącą tworzeniu kolejnych miejsc w szkole – po co oddzielać te procesy, skoro i tak wszyscy w praktyce korzystać będziemy z tej samej technologii. Dodatkowym argumentem jest oczywiście kwestia kreatywności – bez możliwości odpowiedniego powiązania różnych obszarów i połączenia stosowanych w nich podejść, trudno będzie znajdować i rozwiązywać kompleksowe problemy, z którymi zmagają się współczesne społeczeństwa [zob. też McIntosh, 2013].

#### **4. Wpływ przestrzeni i wystroju wnętrza na proces uczenia się**

Zagadnienie narzędzi technologii cyfrowych i konieczność wyposażenia w nie szkół, często przesłania nam wagę wpływu otoczenia na proces uczenia się. Na konferencjach temat ten pojawia się coraz częściej, jednak w praktyce nadal jest o nim cicho, zwłaszcza w polskich szkołach. Różnice w wystroju klas i ich funkcjonalności są najbardziej widoczne, gdy odwiedza się szkoły w różnych krajach. Zmiana możliwości przemieszczania się uczniów podczas lekcji, ilości kolorów, sposobu ekspozycji prac uczniowskich oraz zapewnienie możliwości wyboru pewnych aktywności, jak na przykład czytania książki w kąciaku do tego przeznaczonym, wpływa na autonomię uczniów, ich szacunek do procesu edukacji oraz na poziom zaangażowania.

Gdy przedstawiam powyższe argumenty, często utożsamiane są one z kwestiami finansowymi. Ale, jak pokazał to Stephen Heppell na konferencji „EduTech” w Australii, pieniądze nie są warunkiem koniecznym. Niezbędny natomiast jest pomysł, chęć działania i współpraca zarówno uczniów, nauczycieli, jak i kadry administracyjnej. Pokazane przez Profesora rozwiązania dotyczyły dwóch klas, z których jedna dostała budżet w wysokości 500, a druga – 100 Euro [Heppell, 2013]. Uczniowie sami wymyślili wystrój, a także sporządzili wiele z jego elementów. Sam projekt był fantastyczną okazją do uczenia się oraz rozwoju autonomii i odpowiedzialności uczniów. Profesor Heppell podkreślał, że samodzielne urządzenie klasy pozwala uczniom na takie korzystanie z narzędzi, do jakiego są przyzwyczajeni w domu. Zmniejsza też poczucie wyobcowania, dyskomfortu i zagrożenia.

Podobny temat podjął Stephen Harris, który pokazał przykład wykorzystania różnych miejsc i ich celowej aranżacji w procesie uczenia się. Podkreślił on ważność takich elementów, jak możliwość samodzielnego ustawienia mebli przez uczniów, akustyka sufitu, kolory, roślinność, wygoda oraz umożliwienie wykorzystania wszystkich powierzchni, w tym schodów i parapetów [Harris, 2013].

Szersze ujęcie tego zagadnienia pokazał Pablo Campos Calvo-Sotelo w swojej prezentacji we Florencji, w której nawiązał do historii architektury kampusów uniwersyteckich, przedstawiając te, które jego zdaniem najlepiej współgrają z celami wyższych studiów, podkreślając ich strukturę przestrzenną oraz logikę budynków, a także wolną przestrzeń kampusu umożliwiającą kontynuację procesu uczenia się na otwartym terenie [Calvo-Sotelo, 2012].

#### **5. Współpraca środowiska naukowego z komercyjnym**

Wiele podmiotów komercyjnych zajmuje się oceną potrzeb ludzi uczących się i dostosowywaniem swoich rozwiązań i urządzeń do tychże potrzeb lub naturalnych predyspozycji. Badaniom tym zarzuca się często brak zastosowania wszystkich wymogów sztuki przeprowadzania badań naukowych. Co gorsza, ich wyniki są często całkowicie pomijane przez naukowców.

Tymczasem wiele z tych badań ma ogromny potencjał, który mógłby zostać rozwinięty poprzez uszczegółowienie związków i relacji zachodzących między poszczególnymi czynnikami. Świat cyfrowy zmienia się w znacznie szybszym tempie, niż wszystko, co znane nam jest z przeszłości. Cykl typowego badania naukowego często

sprawia, że jego wyniki – w momencie publikacji – są już nieaktualne lub dawno znane w świecie biznesu ze względu na dogłębne przetestowanie w praktyce.

Z drugiej strony przeprowadzane są niezmiernie ciekawe badania, takie jak badania dr Saskii Kistner, która wykazała, że wykorzystanie interaktywnych programów ma większy sens (i korzyść), gdy uczniowie posiadają już jakąś wiedzę na dany temat. Wiedza ta w połączeniu z graficznym wyobrażeniem problemu daje istotnie pozytywne rezultaty w procesie uczenia się [Kistner, 2012].

Podczas konferencji WCCE w Toruniu wiele rozmawialiśmy na temat braku jednego, wiarygodnego źródła badań naukowych, z których można by czerpać z korzyścią dla procesu uczenia się. Jak się okazuje, w Wielkiej Brytanii powstaje projekt, który zakłada zebranie badań w formie swego rodzaju ustrukturyzowanych drzewek [<http://meshguides.org>, 2013].

Poruszyliśmy również kwestię konieczności zmiany zasad przeprowadzania badań w edukacji i ich usprawnienia poprzez np. zastosowanie tzw. „agile approach”, znanego w starterach biznesowych. Edukacja jest bowiem dziedziną, w której ogromną rolę odgrywają czynniki często pozostające poza zasięgiem badania naukowego, takie jak stosunek rodziców do procesu uczenia się, sytuacja w domu, postawa nauczycieli czy jakość otoczenia, w którym przebiega proces uczenia się. Czynniki te mogą natomiast zostać zweryfikowane w praktyce, w naturalnym środowisku uczących się.

## Podsumowanie

Powyższe rozważania i przykłady pokazują, że narzędzia technologiczne i związane z nimi nowe procesy edukacyjne mogą znacząco ulepszyć proces uczenia się. Komputery i Internet są w istocie czymś więcej, niżli tylko prostymi narzędziami technologicznymi. Podejście do ich wykorzystania powinno uwzględniać nie tylko to, co za ich pomocą można zrobić, ale też to, w jaki sposób mogą one pomóc w lepszym wykorzystaniu naszych umiejętności związanych z procesem uczenia się. Z jednej bowiem strony zaobserwować można niemal bałwochwalcze podejście do tych narzędzi, z drugiej natomiast, podejście przepelnione obawami i rezerwą. Każde z narzędzi technologii intelektualnych wpłynęło na sposób myślenia ludzi z nich korzystających. Lepiej więc zawczasu pokierować takim ich wykorzystaniem, które współgrać będzie z naszą naturą, niż pozwolić im podyktować rozwój naszego myślenia i związanego z nim procesu uczenia się.

Jednocześnie, rozwijając przemyślane użycie narzędzi technologicznych i usprawniając procesy edukacyjne, nie możemy zapominać o istnieniu wielu dodatkowych czynników, które powinny zostać uwzględnione w projektowaniu technologii służącej celom edukacyjnym. Oczywiście, zacząć należy od czegoś małego i konsekwentnie poszerzać zakres ingerencji oraz usprawnień. Jednak bez wcześniejszego zaplanowania całości, trudno będzie osiągnąć zakładane rezultaty. Najważniejsze jednak jest to, aby zrozumieć wielość czynników wpływających na proces uczenia się i nie dać się zwieść kolejnym falom pseudorewolucji, które opierają się na pojedynczych akcjach, w żaden sposób ze sobą niepowiązanych. Jednocześnie warto czerpać z dorobku intelektualnego każdej konferencji i na ich bazie rozwijać kolejne rozwiązania, nie zaprzepaszczać tego, co już zostało zrobione.

## Bibliografia

Calvo-Sotelo P. C.: *Architecture for Education: Cities, Campus, Buildings, Classrooms*.

“Future of Education”, Florence 2012. <http://managingtheuniversitycampus.files.wordpress.com/2011/03/april-11-2011-pablo-campos-educational-campus.pdf> [dostęp 14.06.2013]

Duffy P.: *Working with the Brain: Learning: Transfer and Power of the Theatrical Analogy*. IICE, Dublin 2012; McAtomey D.: *Scaffolding Higher Level*. Action Based e-Learning. IICE, Dublin 2012

Goodman L.: *Ireland International Conference on Education*. Dublin 2012. Zob. też <http://smartlab-ie.com/the-team/smartlab-team-at-ucd/professor-lizbeth-goodman-director/> [dostęp 14.06.2013]

Harris S.: *The school of the future: change management lessons from a pioneering school*. “EduTech”, Brisbane, Australia 2013. „[http://static.squarespace.com/static/510b86cce4b0f6b4fb690106/t/512eafb7e4b0ed945e310a91/1362014135657/stephen-harris\\_virtual-pedagogical-physical-space.pdf](http://static.squarespace.com/static/510b86cce4b0f6b4fb690106/t/512eafb7e4b0ed945e310a91/1362014135657/stephen-harris_virtual-pedagogical-physical-space.pdf) [dostęp 14.06.2013]

oraz <http://imaginelearning.tumblr.com/>

Heppell S.: *Learning in the Digital Classroom: What's the rage for the next year?* “EduTech”, Brisbane, Australia 2013. <http://www.edutech.net.au/resourcecentre.html> [dostęp 14.06.2013]

Hicks A.: *Beyond books: The librarian, the research assignment and the PLE*. PLE Conference, 2013. [http://pleconf.org/wp-content/uploads/2012/12/PLE-Programm\\_finalfinal\\_komprimiert.pdf](http://pleconf.org/wp-content/uploads/2012/12/PLE-Programm_finalfinal_komprimiert.pdf) [dostęp 14.06.2013]

<http://meshguides.org/> [dostęp 14.06.2013]

<http://writereaderapp.pressdoc.com/44986-swedish-research-shows-how-using-ict-can-improve-literacy-skills> [dostęp 14.06.2013]

Iliev V., Doyle M.: *ICT in the Bulgarian Primary School*. WCCE, Toruń 2013. Volume 2: Practice Papers

Kistner S.: *Learning with an interactive physics Programme*. “International Conference on Thinking”, London 2012. <http://www.ict2012.bbk.ac.uk/abstracts/International%20Conference%20on%20Thinking%20201%20-%20Birkbeck%20College.pdf> [dostęp 14.06.2013]

McIntosh E.: *Keynote na EduTech*. Brisbane, 2013. <http://edu.blogs.com/> [dostęp 14.06.2013]

Niederhauser D., Ogilvie C. A., Toy S.: *Solving Ill-structured Problems: Student Behaviour in an Online Problem-solving Environment*. X WCCE. Volume 1. Research Papers, Toruń 2013

O Duill M.: *Teaching: Traditional versus Turing*. X World Conference on Computers in Education (X WCCE). Volume 2: Practice Papers, Toruń 2013

Reynolds P., Quinn B., San Diego J., Green T. A., Shahriari Rad A., Newton T., Wright J., Shah N., Woolford M.: *Haptics environments to enhance teaching and learning in higher education: the interdisciplinary hapTEL experience – The Interdisciplinary HapTEL experience*. WCCE, Toruń 2013

Rhodes M.: *Children's Conceptual Biases and the Development of Induction*. <http://www.ict2012.bbk.ac.uk/programme.php> [dostęp 14.06.2013]

Robinson K.: *Leading a Learning Revolution*. <http://www.learningwithoutfrontiers.com/> [dostęp 14.06.2013]

Wolfram C.: *Making Maths Beautiful*. "Learning Without Frontiers", London 2012. <http://www.learningwithoutfrontiers.com/2012/02/conrad-wolfram-making-maths-beautiful/> [dostęp 14.06.2013]