

# Technologie informatyczne w edukacji

**Jolanta BRZOSTEK-PAWŁOWSKA**

Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa

**Dariusz MIKUŁOWSKI, Marek PILSKI**

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

## **Technologie zwiększające dostępność elektronicznych edukacyjnych materiałów matematycznych dla osób z dysfunkcją wzroku**

Technologies improving the access to digital materials  
in mathematics for the visually impaired

**Słowa kluczowe:** technologia wspomagająca, matematyka, EPUB3, podręcznik matematyki.

**Key words:** assistive technology, mathematics, EPUB3, a mathematics handbook.

**Abstract:** The article presents innovative assistive technologies to create and share educational materials in mathematics, to be used by the visually impaired students. The presented solutions are the results from research conducted at the Institute of Mathematical Machines in the years 2014–2015. The article presents also open standards EPUB3 as well as HTML5, MathML, SVG, on which the solutions were based.

**Wprowadzenie w problematykę.** Postępująca cyfryzacja informacji i zwiększająca się ilość elektronicznych dokumentów nasilają problem użytkowników z dysfunkcją wzroku do dostępności elektronicznych dokumentów z treściami zawierającymi formuły i grafikę matematyczną. Problem wynika z mało efektywnych dotychczas technologii udostępniania tego rodzaju treści.

Tradycyjną formą dostępu niewidomych do treści matematycznych są specjalnie przygotowane podręczniki pisane w wypukłym punktowym alfabecie brajla z użyciem notacji matematycznej (w Polsce jest to BNM [1]). W notacji tej wzory matematyczne są zapisywane w formie liniowej znak po znaku. Aby taki zapis był możliwy, te same znaki brajlowskie muszą często oznaczać inne symbole matematyczne, a ich znaczenie wynika z kontekstu. Z tego powodu konwersja standardowego zapisu matematycznego na postać BNM jest problemem niełatwym do zrealizowania w sposób

automatyczny. Dodatkowo problemem jest fakt, że brajlowskie notacje matematyczne w różnych krajach różnią się od siebie niekiedy bardzo znacznie.

Jednym z rozwiązań udostępniania dokumentów matematycznych dla niewidomych jest nagrywanie tekstu podręcznika w formie plików audio. W technice tej jest brak możliwości bezpośredniej nawigacji np. do fragmentu, na który się powołujemy w nagraniu. Grafika matematyczna (wykres funkcji, figura geometryczna) musi być również odpowiednio przygotowana dla niewidomego czytelnika. Jedną z metod jest użycie specjalnej nagrzewarki i tzw. pęczniejącego papieru, których koszt jest dosyć wysoki. Inną techniką jest wydrukowanie rysunku na drukarce brajlowskiej, np. Index lub ViewPlus. Takie rysunki mogą być przygotowane przy pomocy dedykowanego firmowego oprogramowania, np. Audio Graphing Calculator ViewPlus, zgodnie ze ściśle określonymi zasadami [2] lub mogą być pobierane z baz gotowych rysunków [3].

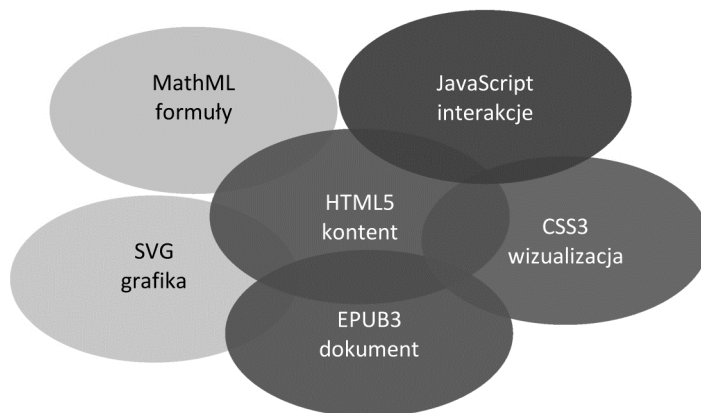
Prace nad efektywniejszym udostępnieniem treści matematycznych dla niewidomych, zwłaszcza w szkolnictwie, są bardzo potrzebne. Podjęte badania nad nowymi technologiami, prezentowane w artykule, oparte zostały na możliwościach nowego standardu EPUB3 [4].

**Cele badawcze i metodologia.** Jednym z celów badań prowadzonych w latach 2014–2015 w Instytucie Maszyn Matematycznych (IMM) było zastosowanie standardu EPUB3 do tworzenia, edycji, udostępniania i wymiany edukacyjnych treści matematycznych w sposób dostępny dla niewidomych użytkowników. Chodzi o umożliwienie tym osobom czytania formuł i efektywnego zapoznawania się z grafiką matematyczną oraz interaktywnego rozwiązywania zadań matematycznych. Brak dostępności matematycznych materiałów edukacyjnych jest problemem zarówno w szkolnictwie formalnym (średnim i wyższym), jak i pozaformalnym, tym bardziej istotnym, odkąd obowiązuje w Polsce egzamin maturalny z matematyki.

Przeprowadzone i opublikowane [5] w 2014 r. przez IMM badania stopnia informatyzacji formalnej edukacji matematycznej uczniów z dysfunkcjami wzroku w Polsce oraz potrzeb w tym zakresie wykazały ogromną lukę w zastosowaniach narzędzi informatycznych do nauczania matematyki w stosunku do korzystania z nich w przedmiotach nietechnicznych. Zapotrzebowanie na informatyczne narzędzia efektywnie wspomagające proces edukacji matematycznej nauczyciela i ucznia lub studenta jest ogromne.

Głównymi wyzwaniem badawczym było stworzenie możliwości odczytu mową syntetyczną, semantycznie, w języku polskim całych formuł lub ich fragmentów, nawigowania po strukturze formuł z jednoczesnym odczytem, edycji formuł oraz takiego zapisu grafiki matematycznej, by mogła być odczytywana (sygnałami akustycznymi i mową syntetyczną) poprzez eksplorację i gesty na ekranie dotykowym. Do rozwiązania problemu zastosowano najnowszą wersję standardu EPUB 3 publikacji elektronicznych i możliwości, jakie dają włączone do EPUB 3 standardy HTML5 zapisu treści, MathML zapisu formuł matematycznych, SVG zapisu dwuwymiarowej grafiki wektorowej oraz arkuszy stylu CSS3 (style wizualizacji dla użytkowników słabowidzących). Interaktywność dokumentów EPUB3 jest osiągnięta skryptami JavaScript. Wybór do badań standardu EPUB3 podyktowany został również interoperacyjnością

dokumentów EPUB3, responsywnością treści zapisanych w XHTML/HTML5 i brakiem konieczności korzystania z jakiegokolwiek platformy edukacyjnej typu LMS (Learning Management System). Rysunek 1 przedstawia zastosowane w badaniach standardy i ich wzajemne relacje.



Rys. 1. Standardy zastosowane w zwiększaniu dostępności matematycznych materiałów edukacyjnych i ich relacje

**Aktualne badania nad zastosowaniami edukacyjnymi EPUB3.** EPUB3 jest otwartym standardem, opartym na języku XML, stosowanym do publikowania elektronicznych książek (e-booków). Najnowsza jego wersja (v3) obejmuje język HTML5 i standardy, z pewnymi ograniczeniami zapisu formuł matematycznych MathML (tylko warstwa prezentacji) i grafiki wektorowej SVG (bez animacji). Dokument EPUB3 jest plikiem zip, stanowiącym kontener opakowujący strukturą manifestu, strukturę metadanych i właściwą zawartość dokumentu XHTML (HTML5), z możliwymi wbudowanymi strukturami MathML i strukturami SVG oraz włączone do zip pliki multimediów, skryptów JavaScript, również plików SVG i arkuszy stylów css, do których są w HTML5 referencje.

EPUB3 stwarza duże możliwości posługiwania się przez osoby niewidome dokumentami technicznymi zapisanymi w tym formacie, ze względu na ich multimedialność jak i multimodalność wynikającą z możliwej współpracy z technologiami asystującymi, np. czytnikami ekranu. Strukturyzacja zaś treści matematycznej (tekstu, formuł, grafiki), wynikająca z zapisu w XML oraz możliwe dodatkowe opisy, udźwiękowiane, obiektów i ich części, ułatwiają nawigowanie po zawartości dokumentu i jej percepcję przez niewidomych czytelników.

**Publikowane badania edukacyjnych zastosowań EPUB.** Zainteresowanie badaczy zastosowaniem EPUB3 w edukacji jest coraz większe. Wynika ono z trendów technologicznych umożliwiających interakcje, komunikację i korelacje, wychodzących naprzeciw potrzebom społecznym, w tym potrzebom edukacyjnym. Studenci lub uczniowie czytają dokumenty, oglądają instruktażowe wideo, robią notatki, rozwiązują zadania, często przełączając się pomiędzy różnymi środowiskami edukacyjnymi

takimi jak przeglądarki internetowe, odtwarzacze wideo czy czytniki książek. Zintegrowanie tych środowisk oszczędza czas osobom uczącym się. Format EPUB3, może służyć do integracji obsługi różnego typu materiałów edukacyjnych. EPUB3 bardzo dobrze nadaje się do tworzenia mobilnego środowiska edukacyjnego, o czym piszą Sigarchian i inni [5]. Bartalesi i Leporini potwierdzają w [6] zastosowanie EPUB dla niewidomych użytkowników na mobilnych urządzeniach, badając dostępność dokumentów EPUB poprzez technologię wspomagającą VoiceOver. Ci sami autorzy w [7] publikują wyniki badań preferencji użytkowników niewidomych dotyczących EPUB i PDF – 88% badanych preferuje dokumenty EPUB. Większa interoperacyjność materiałów zapisanych w EPUB niż materiałów (kursów) zapisanych w standardzie SCORM<sup>1</sup> i brak konieczności korzystania przez dokumenty EPUB z platformy LMS powoduje coraz większe zastosowanie EPUB w edukacji jako alternatywa drukowanych materiałów, zwłaszcza dla użytkowników z barierami dostępu do druków czarno-białych. Według Oku, Matsubara i Booka [8] w szkołach i uczelniach japońskich materiały edukacyjne EPUB i DAISY stopniowo są wprowadzane obok materiałów drukowanych. Jako wyniki badań pojawiają się rozwiązania automatyzujące konwersje różnego typu istniejących materiałów edukacyjnych na EPUB, np. Chang w [9] opisuje opracowany konwerter SCORM/EPUB. Tworzone są w chmurze nowego typu systemy dla prowadzenia analityki edukacji opartej na książkach i innych materiałach edukacyjnych EPUB, mierzące m.in. kto, ile i jak długo studiował dany podręcznik. Taki system, m.in. wykorzystujący struktury metadanych EPUB3, przedstawiają Kataoka, Amagasa i Kitagawa w [10]. Publikacje naukowe w dużej mierze zwracają uwagę na możliwości budowania w EPUB3 różnorodnych interaktywności (bazujących na skryptach JScript), potrzebnych w edukacji do wykonywania różnych ćwiczeń i testów. Szeroki zakres interaktywności EPUB3 i jej potrzebne zastosowania w edukacji powodują przekonanie Gailera i współautorów wyrażone w [11], że EPUB3 stanie się podstawowym formatem podręczników akademickich, również z tej przyczyny, że jako otwarty standard w znacznym stopniu będzie towarzyszył implementacji idei otwartego nauczania i uczenia się (*Open Learning and Teaching*) m.in. na potrzeby MOOC<sup>2</sup>.

Przegląd literatury naukowej dotyczącej badań nad zastosowaniami EPUB wykazuje niszę w badaniach zastosowań EPUB w zakresie edukacji matematycznej dostępnej dla użytkowników z dysfunkcjami wzroku.

**Zastosowania standardów zapisu dostępnych treści matematycznych.** Standard EPUB3 znalazł zastosowanie w opracowanych rozwiązaniach jako zapis dokumentów matematycznych, które w sposób łatwy mogą być przesyłane, wymieniane różnymi kanałami komunikacyjnymi oraz gromadzone i udostępniane w internetowych serwisach lub repozytoriach. Jednak to przede wszystkim możliwości standardów HTML5, MathML, SVG i JScript, objętych przez EPUB3, stworzyły szanse na

---

<sup>1</sup> SCORM – Sharable Content Object Reference Model, specyfikacja zapisu i obsługi materiałów e-learningowych, w skrócie – standard e-learningu.

<sup>2</sup> MOCC – Massive Open Online Course, kurs online dostępny poprzez stronę internetową.

opracowanie efektywnych rozwiązań zwiększających dostępność edukacyjnych treści matematycznych. Dalej przedstawiamy cechy dwóch, najważniejszych dla prowadzonych badań, standardów MathML i SVG oraz BNM, którą zastosowaliśmy na potrzeby niewidomych użytkowników posługujących się klawiaturą i linijką brajlowską, a nie tylko klawiaturą qwerty i mową syntetyczną.

**MathML – standard zapisu formuł matematycznych.** W badaniach został wykorzystany fakt, że formuła matematyczna zapisana w MathML posiada logiczną drzewiastą strukturę. Dzięki niej można analizować dowolne fragmenty zapisu matematycznego jako całość i wprowadzić ich odpowiedni odczyt. Przykładowo mając zapisany ułamek  $\frac{2x}{3}$  jako element `<mfrac>`, który zawiera podelementy takie jak licznik i mianownik, można go przetworzyć na inteligentny odczyt głosowy zrozumiały dla użytkownika, np. „ułamek w liczniku 2x w mianowniku 3”. Ponadto dzięki takiej drzewiastej strukturze można zapewnić nawigację po złożonej formule z jednoczesnym odczytem jej fragmentów przy pomocy syntezy mowy, co zostało również zrealizowane.

**SVG – standard wektorowej grafiki.** Standard SVG poza łatwą skalowalnością grafiki daje możliwość nawigacji po strukturze grafiki, dotarcia do każdego elementu rysunku i dodania do każdego elementu jego tytułu i szczegółowego opisu bądź wyjaśnienia poprzez odpowiednie tagi (`title`, `desc`, `aria-leabeledby`) definiujące znaczniki opisu. Teksty zawarte w tych znacznikach są odczytywane mową syntetyczną. Sama struktura metadanych dotycząca obiektu graficznego pozwala na umieszczenie w nim, oprócz opisu obiektu, np. wskazówek dotyczących nawigacji po obiekcie graficznym na ekranie dotykowym, odczytywanych również mową syntetyczną. SVG daje możliwości sterowania sposobem prezentacji grafiki poprzez definiowanie stylów dostosowanych do różnych urządzeń i potrzeb użytkownika oraz sterowania aktywowaniem stylów, co ma większe zastosowanie dla użytkowników słabowidzących. Współpraca z czytnikami ekranu odbywa się poprzez interfejs modelu dokumentu DOM. Dostępność standardu SVG ujęta jest w specyfikacji publikowanej przez W3C i [12].

**BNM – Brajlowska Notacja Matematyczna.** MathML jako struktura drzewiasta również może być wykorzystany jako format wejściowy dla konwersji do postaci brajlowskiej notacji matematycznej opisanej na wstępie. W pracach autorów zostało utworzone narzędzie do konwersji formuł matematycznych z formatu MathML na BNM i z BNM na MathML. Do jej zrealizowania wykorzystano i dostosowano uniwersalny konwerter open source Liblouis. Formuła matematyczna widoczna dla widzącego użytkownika w przeglądarce jako odpowiednia struktura graficzna, może być odczytana dla niewidomego w inteligentny (semantyczny) sposób w języku polskim, a także na jego życzenie może być prezentowana w formie znaków BNM na linijce brajlowskiej podłączonej do jego komputera. Konwertery te umożliwiają również niewidomemu użytkownikowi pisanie formuł matematycznych przy pomocy klawiatury brajlowskiej i natychmiastową, automatyczną, zamianę ich zapisu w notacji BNM na wizualizowaną graficznie postać dostępną dla użytkownika widzącego, a także inteligentne

odczytanie formuł za pomocą głosu syntetycznego. To współdziałanie graficznego interfejsu użytkownika z interfejsem brajlowskim umożliwia wspólną pracę nad dokumentem matematycznym np. niewidomego ucznia i widzącego nauczyciela.

**Dostępne multimedialne edukacyjne treści matematyczne. Rozwiązania zwiększające dostępność treści matematycznych.** Aby dokument matematyczny był w pełni czytelny dla użytkownika niewidomego, musi być odpowiednio przygotowany. Treść tekstowa może być udostępniona jako HTML możliwy do odczytania przez standardowe czytniki ekranu. Formuły matematyczne można udostępnić w brajlu (BNM) lub jako inteligentny tekstowy odczyt generowany przez syntezytor mowy. W rozwiązaniach opracowanych przez autorów niniejszego artykułu zostały zastosowane obie te metody.

Pierwszą wykorzystaną możliwością jest dodawanie do dokumentu fragmentów w zapisie MathML. Aby formuła matematyczna była dostępna również dla osoby niewidomej, musi być odczytana przy pomocy głosu syntetycznego w taki sposób, by użytkownik mógł zrozumieć strukturę i logiczny układ formuły. W tym celu do treści zapisanej w HTML5 dodawany jest odpowiedni skrypt JavaScript, który analizuje strukturę elementów XML-owej (MathML) formuły i zamienia je na odpowiednie fragmenty tekstowe przekazywane do odczytu przez czytnik ekranu. Przykładowo fragment formuły wyrażony w MathML, który reprezentuje ułamek  $\frac{x}{y}$ : `<math><frac><mrow>x</mrow><mrow>y</mrow></mfrac></math>` jest zamieniany na tekst „ułamek w liczniku x w mianowniku y”, który jest zrozumiały dla niewidomego. Dzięki temu, kiedy użytkownik ustawi focus na formule matematycznej, uruchamiany jest odpowiedni skrypt JavaScript, który najpierw przetwarza ją do formy inteligentnego opisu tekstowego, a następnie automatycznie odczytuje przy pomocy syntezytora mowy.

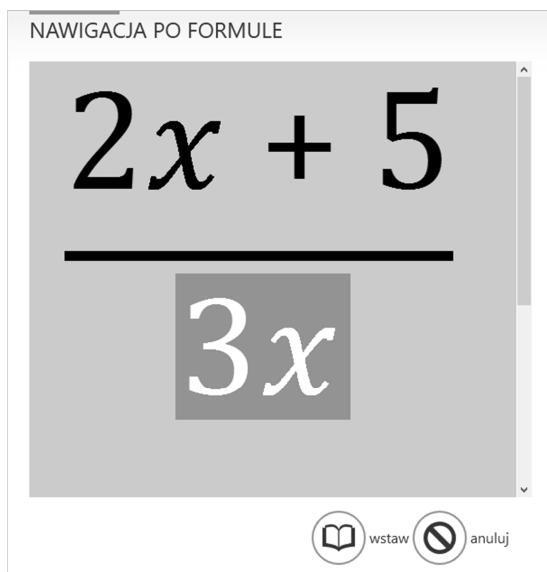
Możliwość w EPUB3 dodawania do dokumentu obiektów audio i wideo wykorzystano do wzbogacenia publikowanych treści matematycznych o komentarze dźwiękowe np. zawierające uzasadnienie kolejnych przekształceń z odwołaniem się do teorii. Wykorzystano też możliwość dodawania do dokumentu grafiki wektorowej w formacie SVG, która dzięki odpowiednim skryptom może być rozpoznana przez niewidomego użytkownika i wydrukowana na drukarce brajlowskiej lub drukarce 3D jako wypukły rysunek tyflograficzny.

Zastosowanie tych rozwiązań powoduje, że dokument EPUB3 staje się interaktywną multimedialną aplikacją komunikującą się z użytkownikiem. Zapoznanie się z treścią matematyczną przez niewidomego staje się całkowicie interaktywne i samodzielne, co do tej pory nie było praktycznie możliwe.

**Dostępne, interaktywne rozwiązania czytnika dokumentów matematycznych.** Opracowany, jako wynik badań, czytnik matematycznych dokumentów EPUB3 umożliwia niewidomemu użytkownikowi szybką nawigację po treści dokumentu przy pomocy skrótów klawiszowych, podobne jak w nawigacji po stronach WWW. W czasie nawigacji może rozpoznawać poszczególne elementy dokumentu takie jak paragrafy, nagłówki, listy, a także formuły matematyczne, grafiki czy komentarze audio dołączane

do formuł. W chwili ustawienia kursora (focusa) na elemencie danego typu, jest generowany odpowiedni sygnał dźwiękowy, przypisany do danego typu elementu dokumentu, a treść tego elementu jest automatycznie odczytywana przez syntezytor mowy. Kiedy użytkownik natrafi na formułę matematyczną, jej treść jest automatycznie odczytywana w inteligentny, semantyczny sposób przez czytnik ekranu. Dodatkową możliwością jest opcja odczytu formuły w brajlowskiej notacji BNM na podłączonej do komputera linijce brajlowskiej.

W przypadku skomplikowanej formuły jej jednokrotny odczyt nie wystarczy do dobrego zrozumienia i zapamiętania przez niewidomego czytelnika. Dlatego czytnik został wyposażony w funkcję nawigacji po elementach formuły. Kiedy użytkownik napotka w dokumencie formułę, może nacisnąć odpowiednią kombinację klawiszy, która spowoduje otwarcie się osobnego okna nawigacji po formule (patrz rysunek 1). W tym okienku użytkownik może poruszać się po elementach formuły przy pomocy klawiszy strzałek oraz innych klawiszy nawigacyjnych, jak też gestami dotykowymi. Podczas nawigowania stosowny fragment formuły jest wyróżniany innym kolorem na potrzeby słabowidzących i/lub nauczycieli i wypowiedziany przez syntezytor mowy.



**Rys. 2. Okno nawigowania po formule. Zaznaczony jest mianownik ułamka, który jest odczytywany przez syntezytor**

Po napotkaniu formuły w dokumencie użytkownik może również ją edytować w oknie edytora formuł wywołanym skrótem klawiszowym, do którego zostaje wczytana formuła. W zależności od jednej z 2 wybranych opcji formuła jest wczytywana w postaci ciągu znaków BNM albo w postaci tekstowego ciągu w notacji AsciiMath. W pierwszym przypadku oprócz okienka edycyjnego użytkownik ma do dyspozycji tzw. wirtualną klawiaturę brajlowską, przy pomocy której może modyfikować wprowadzaną formułę. Formuła wczytana w notacji AsciiMath jest edytowana poleceniami

AsciiMath, np.  $\sqrt{x}$  dla pierwiastka kwadratowego, z klawiatury qwerty lub wybranymi z dostępnych list wyboru i przycisków. Edycję można również rozpocząć w czasie nawigacji po formule, wybierając fragment formuły do edycji. Edytor formuł jest całkowicie udźwiękowiony, tzn. wszystkie jego funkcje są odczytywane przez syntezator mowy.

***Dostępne, interaktywne rozwiązania czytelnika grafiki matematycznej.*** Elementem dokumentu matematycznego, oprócz formuł, może być grafika matematyczna. Grafikę można dodać do treści HTML5 w postaci struktury SVG. W opracowanych rozwiązaniach do dokumentu EPUB3 dołączany jest skrypt, który pozwala na wydrukowanie grafiki matematycznej na drukarce brajlowskiej lub wygenerowanie pliku w formacie STL do druku 3D. Dodatkową funkcją zwiększającą dostępność grafiki matematycznej jest możliwość oglądania jej przez niewidomego czytelnika za pomocą eksploracji ekranu dotykowego. Użytkownik, napotkawszy grafikę w dokumencie, może naciśnięciem odpowiedniego skrótu klawiszowego spowodować otwarcie okna z powiększoną grafiką na cały ekran. Następnie przesuwając palec po ekranie dotykowym użytkownik może usłyszeć sygnały akustyczne informujące go o różnych rodzajach symboli graficznych znajdujących się na rysunku. Przykładowo kiedy napotka oś układu współrzędnych, usłyszy wysoki ciągły dźwięk, a kiedy przesunie palec na fragment figury – usłyszy ciągły niski sygnał. Jeśli wykona gest podwójnego puknięcia w miejscu danego obiektu, będzie mógł usłyszeć jego opis wypowiedziany przez syntezator mowy. Funkcja ta została zrealizowana poprzez dodanie do rysunku SVG dodatkowych elementów opisujących zawartość danego obiektu. Przykładowo autor rysunku prostokąta może dodać do niego tekst opisu: „prostokąt o wymiarach 3 na 5 cm”. Oprócz opisów poszczególnych figur, do zapisu rysunku w SVG są dodawane opisy dla osi układu współrzędnych, specyfikacji siatki, legenda i tytuł dla całego rysunku, a także orientacyjny znacznik przeznaczony dla osób niewidomych umieszczony w prawym górnym rogu rysunku.

**Wnioski i podsumowanie.** Finalne wersje opracowanych rozwiązań były poddane w drugiej połowie 2015 r. testowaniu i opiniowaniu przez nauczycieli matematyki z 5 ośrodków szkolno-wychowawczych dla dzieci z dysfunkcjami wzroku, 1 szkoły z oddziałami integracyjnym i 1 szkoły podstawowej mającej uczniów z dysfunkcjami wzroku. Opinie zebrano z 24 ankiet. Pytania dotyczyły oceny przez nauczycieli wpływu stosowania narzędzi na efektywność nauczania matematyki uczniów z dysfunkcją wzroku. Wyniki w 100% potwierdziły potrzebę stosowania takich narzędzi wspomagających edukację matematyczną, zwłaszcza niewidomych uczniów. Przygotowywana jest publikacja dotycząca tych badań ankietowych i wyników.

Badania ankietowe, bezpośrednie kontakty i konferencje z nauczycielami wykazały potrzebę dalszego rozwoju narzędzi w kierunku wspomagania nie tylko interaktywnego rozwiązywania większej liczby typów złożonych zadań, ale również rozwiązywania testów i wspomagania pracy zespołowej uczniów. Te nowe funkcje będą bardzo pomocne przy przygotowywaniu uczniów do matury i dla studentów.



Najbliższym czasowo celem IMM jest przeprowadzenie pilotażowych wdrożeń opracowanych asystujących technologii w 3 placówkach edukacyjnych i otrzymanie referencji niezbędnych dla starań o uzyskanie dla narzędzi statusu technologii wspomagającej zalecanej przez MEN.

## Bibliografia

1. Świerczka J. (red.), *Brajłowska notacja matematyczna fizyczna, chemiczna*. Wydanie II. Kraków, Łaski, Łódź 2011.
2. Więckowska E., *Projekt zasad redagowania rysunku i ilustracji dla niewidomego*. Artykuł w LASKI 4/5 2003, s. 47–60.
3. Projekt *Tyflografika – rysunki dla niewidomych* Polski Związek Niewidomych: [www.rysunki.pzn.org.pl/](http://www.rysunki.pzn.org.pl/).
4. Sigarchian, H.G. and all, *Towards making EPUB 3-based e-TextBooks a first-class mobile learning environment*, Proc. of the 10th International Conference on e-Learning, ICEL 2015, Volume 2015, p. 270–278.
5. Rubin M., Faderewski M., Mikułowski D., *Badania stanu i potrzeb informatyzacji edukacji matematycznej uczniów niewidomych i słabowidzących w Polsce*, E-mentor, nr 1(58)/2015, s. 34–40.
6. Bartalesi Lenzi V., Leporini B., *Investigating an accessible and usable ePub book via VoiceOver: A case study*, Volume 7946 LNCS, 2013, p. 272–283.
7. Bartalesi V., Leporini B., *An enriched ePub eBook for screen reader users*, LNCS (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Volume 9175, 2015, p. 375–386.
8. Oku H., Matsubara K., Booka M., *Feasibility study of PDF based digital textbooks for university students with difficulty to handle print textbooks*, 7th International Convention on Rehabilitation Engineering and Assistive Technology, i-CREATE 2013.
9. Chang H.-P., *Digital publication converter: From SCORM to EPUB*, Volume 240 LNEE, 2013, p. 665–671.
10. Kataoka E., Amagasa T., Kitagawa H., *A system for social reading based on EPUB3* Proc. of the ACM 15<sup>th</sup> International Conference on Information Integration and Web-Based Applications and Services, iiWAS 2013; p. 72–76.
11. Gailer, C. and all, *Potential of EPUB3 for digital textbooks in higher education* Volume 8719 LNCS, 2014, p. 564–565.
12. WikiDos – wiki dostępności: <http://imm.home.pl/wiki/informacje>.

### **dr inż. Jolanta BRZOSTEK-PAWŁOWSKA**

Zakład Technologii Multimedialnych i Edukacyjnych  
Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa  
[j.brzostek@imm.org.pl](mailto:j.brzostek@imm.org.pl)

### **dr Dariusz MIKUŁOWSKI**

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach  
Instytut Informatyki  
[dariusz.mikulowski@ii.uph.edu.pl](mailto:dariusz.mikulowski@ii.uph.edu.pl)

### **dr Marek PILSKI**

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach  
Instytut Informatyki  
[marek.pilski@ii.uph.edu.pl](mailto:marek.pilski@ii.uph.edu.pl)