

Magdalena MORUŚ^{1,2}, Piotr BOSOWSKI^{1,2}, Małgorzata MUZALEWSKA^{2,3}

¹Institut Fizyki, Politechnika Śląska, Gliwice.

²Studenckie Koło Naukowe AI-METH, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice.

³Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice.

KULKI-FAKTURKI, INTERAKTYWNE URZĄDZENIE WSPOMAGAJĄCE ROZWÓJ ZMYŚLU DOTYKU

Streszczenie: Celem artykułu jest zaprezentowanie projektu interaktywnego urządzenia wspomagającego rozwój zmysłu dotyku, *Kulek-Fakturki*. Urządzenie składa się z zestawu półkul z parami o identycznych fakturach. Zadaniem osoby ćwiczącej jest znalezienie i połączenie tych par poprzez badanie/ocenie dotykem faktury powierzchni. Poprawne wykonanie zadania zostaje każdorazowo nagrodzone zestawem sygnałów gratyfikujących. Artykuł przedstawia proces projektowania faktury i wytwarzania urządzenia oraz waliduje wartość dydaktyczną łąmigłównki w oparciu o opinie specjalistek z dziedziny terapii specjalnej.

Słowa kluczowe: zmysł dotyku, motoryka mała, pomoce dydaktyczne, niepełnosprawność wzrokowa, integracja sensoryczna

1. WSTĘP

Urządzenia dydaktyczne pełnią ważną rolę w rozwoju zmysłu dotyku oraz motoryki małej, zwłaszcza u dzieci [1, 2]. Popularnymi urządzeniami stymulującymi te obszary są na przykład klocki do układania, tablice sensoryczne, przestrzenne łąmigłównki logiczne. Szeroko dostępne w sklepach zabawki projektowane są dla dzieci zdrowych i w wielu przypadkach nie nadają się do wykorzystania przez osoby o ograniczonych zdolnościach zmysłowo-ruchowych. Powodami tego niedostosowania mogą być: przekroczenie poziomu trudności w stosunku do możliwości dziecka niepełnosprawnego, nadmierna lub niedostateczna ekspozycja na bodźce (zależnie od przypadku), niewystarczająca gratyfikacja poprawnie wykonanego zadania. Wiele możliwych kombinacji zaburzeń sprawia, że dzieci niepełnosprawne potrzebują pomocy dydaktycznych dostosowanych do ich konkretnego przypadku i zestawu schorzeń. Istnieją specjalistyczne rozwiązania profilowane pod kątem dzieci niepełnosprawnych [3], jednak koszty ich wytworzenia są zbyt wysokie, by zostały powszechnie wykorzystane w publicznych placówkach.

Powyższe problemy oraz bardzo duże zapotrzebowanie na pomoce naukowe dla dzieci niepełnosprawnych sprawiają, że osoby pracujące w Specjalnych Ośrodkach Szkolno-Wychowawczych własnoręcznie wytwarzają zabawki dydaktyczne z przedmiotów domowego użytku, takich jak spinacze, piłeczki do tenisa stołowego czy rolki po papierze toaletowym. Praca z tymi urządzeniami wymaga jednak ciągłej uwagi opiekuna, który musi czuwać nad poprawnym rozwiązywaniem oraz podtrzymywać zainteresowanie dziecka, ponieważ proste zabawki niezawierające elektroniki zazwyczaj nie zapewniają wystarczającej ilości sygnałów nagradzających. Rozwiązania te nie umożliwiają także dopasowywania poziomu trudności oraz rodzaju bodźców gratyfikujących, nie mogą być zatem łatwo dostosowane do wymagań konkretnego dziecka [4].

Wychodząc naprzeciw przytoczonym problemom, zaprojektowano *Kulki-Fakturki*, interaktywne urządzenie wspomagające rozwój zmysłu dotyku i motoryki małej. Ta pomoc dydaktyczna składa się z zestawu 8 par półkul, na które nałożone są specjalnie zaprojektowane nakładki o różnorodnych fakturach zewnętrznych, rozróżnialnych dotykiem. Obie półkule z jednej pary mają jednakowe faktury zewnętrzne, natomiast faktury różnych par różnią się wyczuwalnie pomiędzy sobą. Zadaniem osoby ćwiczącej jest wskazanie przy pomocy zmysłu dotyku półkul będących parą i połączenie ich. Poprawne wykonanie zadania nagradzane jest każdorazowo zestawem sygnałów gratyfikujących.

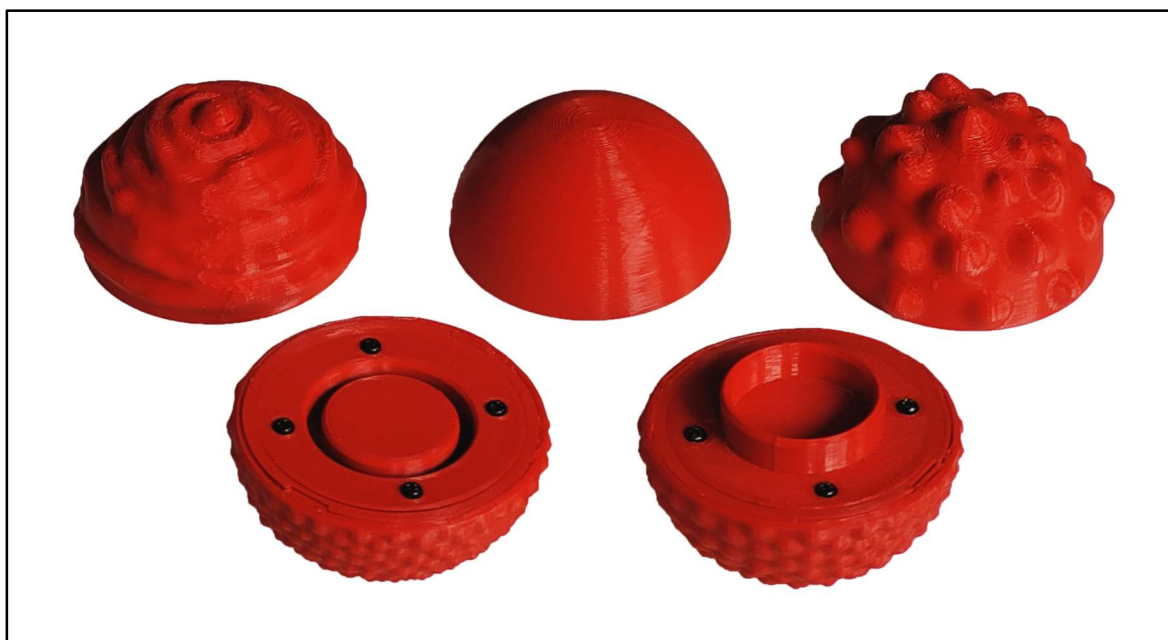
System gratyfikacji, pozwalający na wybór kombinacji trzech różnych bodźców działających na różne zmysły (dźwięku, wibracji i światła), sprawia, że *Kulki-Fakturki* można łatwo przystosować do wymagań osoby ćwiczącej. Jest to szczególnie pomocne w takich miejscach jak Specjalne Ośrodki Szkolno-Wychowawcze, gdzie zabawka może być używana przez osoby o różnorodnych potrzebach [5]. Dzięki możliwości takiego dostosowania sygnałów gratyfikujących, ćwiczący zmagający się z autyzmem może być nagradzany np. jedynie wibracją i dźwiękiem (bez bodźców świetlnych), a dla osoby potrzebującej dużej stymulacji można wykorzystać wszystkie trzy bodźce.

Komplet składa się z aż 8 par półkul, co w oczywisty sposób pozwala dostosować złożoność zadania poprzez użycie jedynie ich podzbioru, od 2 do 8 par. Wraz z urządzeniami dostarczany jest także zestaw 15 par nakładek o różnorodnych stopniach wzajemnego podobieństwa. Daje to dodatkową możliwość modyfikacji poziomu trudności dzięki wybraniu takiego podzbioru nakładek, które osoba ćwicząca będzie w stanie rozróżnić. Zarówno zmiana liczby używanych par jak i wymiana nakładek zewnętrznych jest prosta, szybka i nie wymaga użycia żadnych narzędzi, może więc zostać przeprowadzona przez osobę niemającą doświadczenia technicznego. Dzięki tak szerokiej możliwości dopasowania trudności do użytkownika urządzenie będzie dobrą zabawką zarówno dla bardzo małych dzieci zmagających się ze znaczną niepełnosprawnością, nastolatków o niewielkich upośledzeniach ruchowych lub umysłowych, a nawet niewidomych od urodzenia, których zmysł dotyku jest często wielokrotnie bardziej czuły od dotyku osoby pełnosprawnej.

Koncept oraz prototyp urządzenia zaprezentowano podczas wizyty w Specjalnym Ośrodku Szkolno-Wychowawczym w Dąbrowie Górniczej. Osoby pracujące bezpośrednio z niepełnosprawnymi dziećmi zaaprobowwały pomysł oraz zasugerowały liczne modyfikacje, takie jak zastosowanie diod o programowalnej barwie, funkcjonalność dostosowywania zestawu bodźców gratyfikujących oraz możliwość ręcznego tworzenia własnych faktur przy pomocy przedmiotów i materiałów codziennego użytku, np. przyklejanie ziaren zbóż, pasków materiałów tekstylnych czy przypraw. Wiele z tych sugestii udało się zawrzeć w końcowej wersji urządzenia.

Projektowana pomoc dydaktyczna może być także wykorzystana do treningu zmysłu dotyku osób słabowidzących lub niewidomych, oraz osób pełnosprawnych, tracących wzrok.

We wszystkich wymienionych przypadkach rozwój zmysłu dotyku, w tym czułości rozpoznawania i rozróżniania palcami różnorodnych kształtów, faktur i materiałów jest niezwykle ważny [6], ponieważ w przypadku upośledzenia narządu wzroku to właśnie dotyk staje się w wielu sytuacjach zmysłem dominującym i odpowiada za znaczną część informacji odbieranych z otoczenia [7]. Ćwiczenie zmysłu dotyku bezpośrednio przekłada się wtedy na możliwość poznawania otaczającego świata. *Kulki-Fakturki* mogą zostać wykorzystane także w takim charakterze, ponieważ ich uniwersalny rozmiar pasuje również do wielkości dłoni osoby dorosłej.



Rys.1. Prototyp *Kulek-Fakturki*: przykładowe faktury (górze), sposób połączenia (dół).

2. KULKI-FAKTURKI

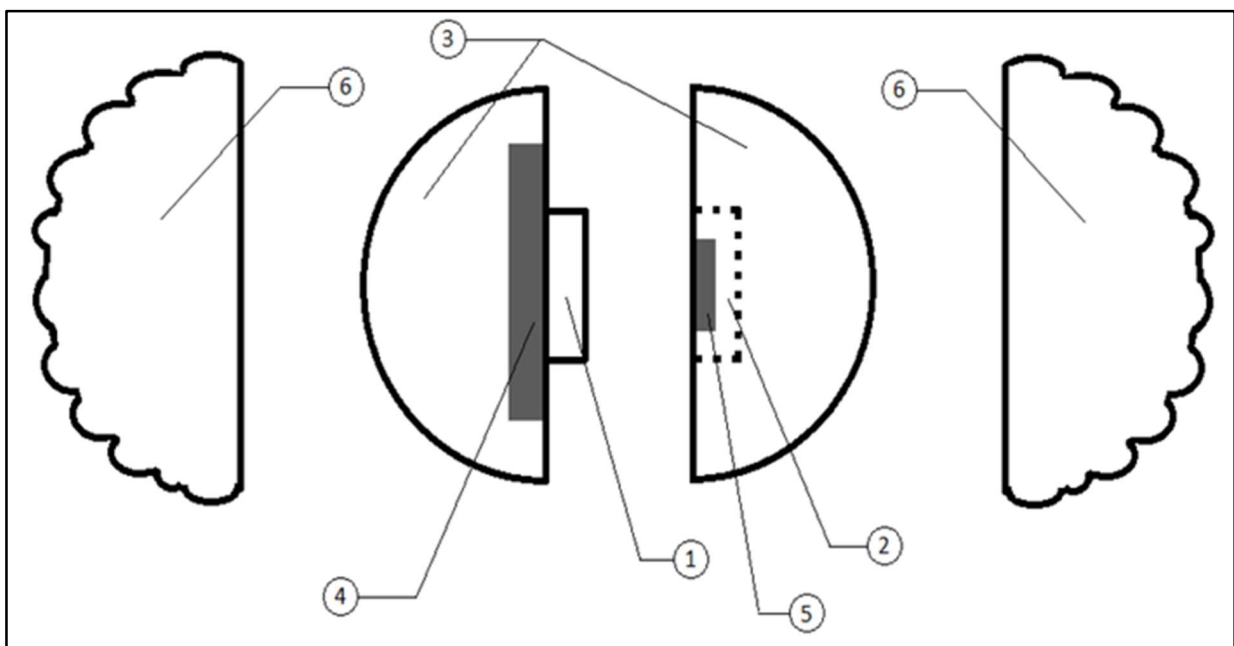
Rozdział opisuje *Kulki-Fakturki*, interaktywne urządzenie wspomagające rozwój zmysłu dotyku, od strony technicznej. Prototyp urządzenia przedstawiono na **Rys.1**.

2.1. Opis techniczny

Pojedyncze urządzenie, przedstawione na **Rys.2**, składa się z zestawu par półkul. Każda z półkul składa się z obudowy, płaskiej części z wypukłym lub wklęsłym pierścieniem, nakładki z fakturą oraz części elektronicznej. Faktury nakładane są na obudowy i mocowane za pomocą połączenia bagnetowego. Fakt, że części te są osobnymi elementami sprawia, że można łatwo dezynfekować powierzchnię zewnętrzną urządzenia bez narażania wewnętrznej elektroniki na uszkodzenie. Dodatkową zaletą tej formy jest możliwość przygotowania większej liczby nakładek niż urządzeń, co pozwoli na dobór trudności zadania do umiejętności użytkownika poprzez wymianę elementów dotykowych na takie, których wzajemne podobieństwo będzie przez osobę ćwiczącą rozróżnialne.

Obudowa w kształcie połowy sfery łączona jest razem z płaską częścią z wypukłym pierścieniem lub wyżłobieniem o odpowiadającym kształcie za pomocą śrub wkręcanych w inserty zatopione w obudowach. Daje to możliwość otwarcia urządzenia i wykonania potrzebnych prac serwisowych, takich jak wymiana baterii. Każda półkula z pary o identycznych fakturach zewnętrznych wyposażona jest w pierścień o tych samych średnicach, przy czym w jednej półkuli kształt pierścienia jest wypukły, a w drugiej wklęsły. Półkule o różnych fakturach zewnętrznych mają natomiast różne średnice pierścieni łączących.

Elektronika mocowana jest od wewnątrz do płaskiej części z wypukłym pierścieniem. W komplementarnej półkuli z wyżłobieniem w kształcie pierścienia przytwierdzony jest magnes, który w momencie zetknięcia się pasujących półkul znajdzie się bardzo blisko elektroniki z drugiej półkuli.



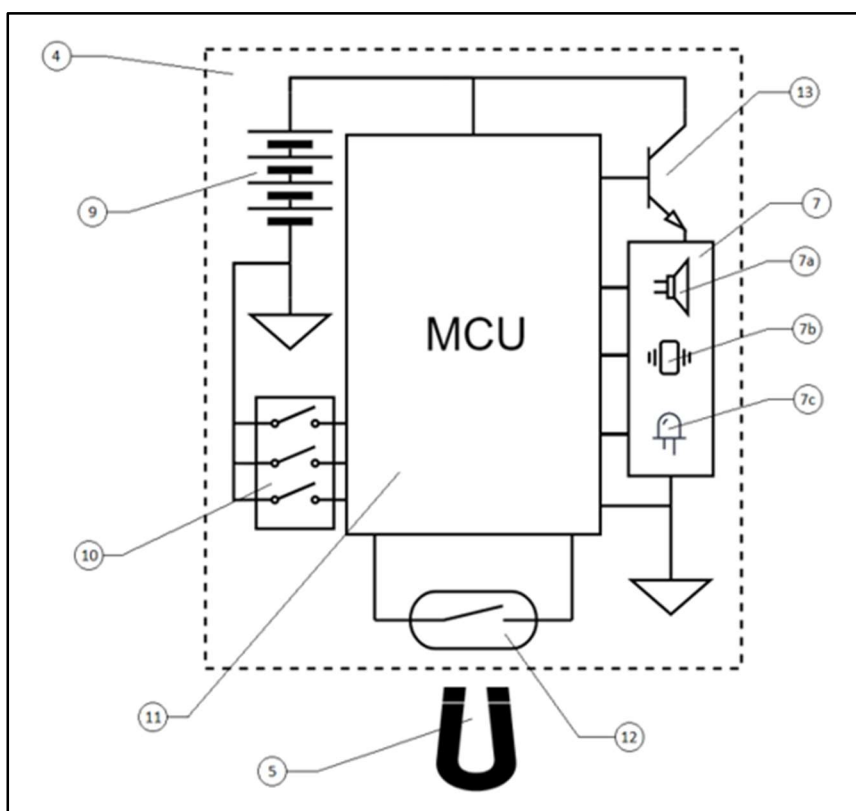
Rys.2. Przekrój przez zespół wypukłej i wklęsłej części z nałożonymi nakładkami z fakturami. (1) płaska część z wypukłym pierścieniem, (2) płaska część z wklęsłym pierścieniem, (3) obudowa, (4) płytki elektroniczne, (5) magnes, (6) nakładka z fakturą.

2.2. Elektronika urządzenia

Elektronika w *Kulkach-Fakturkach* pełni dwie funkcje: wykrywa przyłączenie jednej części urządzenia do drugiej oraz odpowiada za wygenerowanie sygnałów nagradzających. Co istotne, elektronika nie waliduje poprawności wykrytego połączenia - sama konstrukcja urządzenia uniemożliwia wykonanie połączenia niepoprawnego poprzez zastosowanie różnych średnic wypukłego/wklęsłego pierścienia łączącego. Takie rozwiązanie zapobiega sytuacji, w której osoba ćwicząca niepoprawnie interpretuje "kliknięcie" towarzyszące złączeniu półkul jako nagrodę za poprawnie wykonane zadanie, mimo braku wystąpienia właściwych bodźców gratyfikujących, tj. wibracji, dźwięku lub migotania diod. Walidacja poprawności połączenia już na poziomie kształtu uniemożliwiającego wsunięcie jednej połówki w drugą, niepasującą, wyklucza ten problem i zmusza osobę ćwiczącą do dalszego wysiłku, aż do momentu znalezienia półkul odpowiadających, które pozwolą się połączyć. Dodatkową zaletą jest uproszczenie układu elektronicznego, na którym nie ciąży

odpowiedzialność weryfikacji poprawności połączenia np. za pomocą technologii RFID, co wpływa na zmniejszenie kosztu wytworzenia całego urządzenia.

Schemat elektroniki przedstawiono na **Rys. 3**. Centralnym elementem obwodu jest mikrokontroler, którego zachowanie (zestaw uruchamianych bodźców gratyfikujących) można łatwo modyfikować przełącznikiem DIP po rozkręceniu obudowy urządzenia. Rozwiązanie to pozwala na zmianę sygnałów gratyfikujących całego zestawu półkul w około 10-20 minut z użyciem jedynie śrubokrętu. W momencie zbliżenia magnesu, znajdującego się w jednej części urządzenia, do kontaktronu lub czujnika pola magnetycznego w drugiej części urządzenia mikrokontroler rejestruje poprawne połączenie, uruchamia układ gratyfikacji poprzez tranzystor i wysyła odpowiedni zestaw sygnałów sterujących poszczególnymi podzespołami gratyfikującymi (głośnik, silniczek wibracyjny, diody led), wynikający ze stanów przełącznika DIP. Całość zasilana jest zestawem baterii lub akumulatorów, które można łatwo wymienić po rozkręceniu obudowy. Należy podkreślić, że cała elektronika znajduje się wyłącznie w jednej półkuli z pary, druga wyposażona jest jedynie w magnes, co minimalizuje koszty wytworzenia.



Rys.3. Schemat układu elektronicznego *Kulki-Fakturki*. (4) płytka elektroniczna, (5) magnes, (7) układ gratyfikujący, (7a) głośnik, (7b) silniczek wibracyjny, (7c) dioda, (9) zestaw baterii, (10) przełącznik DIP, (11) mikrokontroler, (12) kontaktron, (13) tranzystor.

2.3. Projektowanie faktur

Kluczową częścią projektu *Kulki-Fakturki* było zaprojektowanie nakładek z fakturami. Od strony wewnętrznej, nakładki muszą ściśle pasować do obudów, aby dały się na nie nasadzić, oraz być wyposażone w wypustki konieczne do zablokowania na obudowie przez przekręcenie

(połączenie bagnetowe). Od strony zewnętrznej, natomiast, nakładki powinny mieć kształt (fakturę) przypominającą naturalne, nieregularne materiały, takie jak kora drzewa, rozsypane ziarna kawy czy wzór szyszki. Sprzeczne wymagania co do wysokiej precyzji kształtu od wewnątrz i naturalnej nieregularności od zewnątrz wymuszają użycie dwóch różnych narzędzi do definiowania kształtów 3D, w tym przypadku oprogramowanie projektowe *Autodesk Inventor* równolegle z programem do modelowania *Blender*.

Pierwszym etapem projektowania nakładek jest zaprojektowanie elementu „pustej” nakładki o zupełnie gładkiej fakturze zewnętrznej. Otrzymany element należy przetestować pod kątem dopasowania do obudowy, co jest szczególnie istotne w przypadku wytwarzania elementów metodą druku 3D, w której niedokładności odwzorowania wymiarów jest trudna do przewidzenia. Model pasującej nakładki należy na tym etapie wyeksportować do jednego z formatów reprezentujących bryłę jako siatkę wierzchołków (np. *.obj*), aby możliwe było jej zaimportowanie do programów do modelowania 3D.

Kolejnym etapem jest zaimportowanie modelu składającego się z siatki wierzchołków do narzędzia *Blender*, które umożliwi modelowanie zbliżone do obróbki manualnej przy pomocy narzędzi rzeźbiarskich. Takie podejście, różne od formalnego określania kształtów oferowanego przez narzędzia typu CAD, pozwala osiągnąć naturalnie wyglądające faktury o nieregularnych wzorach w krótkim czasie. Należy jednak pamiętać o zamrożeniu wszystkich wewnętrznych wierzchołków nakładki przed przystąpieniem do modelowania, aby nie zmodyfikować wewnętrznego kształtu elementu. Tak przygotowaną część możemy poddać modelowaniu od zewnątrz, dodając różnorodne kształty, wyźłobienia, nadlewy, wypustki, kolce, wzory przestrzenne itd.

Istotnym problemem było takie zaprojektowanie poszczególnych faktur, aby poziom trudności ich rozróżniania był dopasowany do jak najszerszej grupy odbiorców. Wykorzystując opisane wcześniej programy możliwe jest zaprojektowanie wielu różnorodnych nakładek, z których każda kolejna może się jedynie nieznacznie różnić od poprzedniej (na przykład milimetrowymi różnicami w wysokości wypustek). Zagadnieniem do rozwiązania było wybranie jak najbardziej uniwersalnego zestawu faktur, który będzie można wykorzystać w przypadkach pracy z osobami o różnych potrzebach zaawansowania łamigłówni. Skorzystano tutaj z pomocy osób pracujących w Specjalnym Ośrodku Szkolno-Wychowawczym w Dąbrowie Górniczej, które zaprezentowały inne zabawki wykorzystywane przez swoich podopiecznych oraz oceniły pokazane przez autorów pracy prototypy faktur. Uznano, że nakładki dla osób niewidomych lub słabowidzących powinny być trudniej rozróżnialne niż nakładki dla osób, które zmagają się dodatkowo z niepełno- sprawnościami umysłowymi.

2.4. Zastosowane materiały i technologie

Rosnąca popularność technologii druku 3D oraz ich wysoka dostępność przyczyniły się do wyboru tej technologii wytwarzania jako podstawowej. Wczesny wybór technologii prototypowania jest niezwykle istotny, ponieważ rzutuje na ograniczenia nakładane na elementy już na etapie ich projektowania. Pierwotnie wszystkie części (obudowa, pierścienie, nakładki z fakturami) drukowano technologią przyrostową FDM (Fused Deposition Modeling), natomiast w końcowej fazie projektu zdecydowano się zastąpić FDM na rzecz technologii SLA (Stereolithography, druk żywiczny) w przypadku drukowania elementów

wymagających najwyższej rozdzielczości wydruku. Problem dotyczy nakładek z zewnętrznymi fakturami, na których jakiegokolwiek artefakty będące wynikiem zastosowania technologii FDM są nieakceptowalne, ponieważ w sposób znaczny zmieniają odbiór faktury przy pomocy dotyku. Dzięki wykorzystaniu metody SLA powierzchnie drukowanych faktur są znacznie bardziej gładkie i pozbawione charakterystycznych dla druku FDM niedoskonałości. Różnicę pomiędzy obiema technologiami druku przedstawia **Rys.4**.



Rys.4. Porównanie tej samej faktury wydrukowanej w technologii SLA (lewa) i FDM (prawa).

3. WNIOSKI

Interaktywne urządzenia dydaktyczne są ważne w rozwoju dziecka. Atrakcyjne pomoce naukowe zachęcają dzieci do ćwiczeń i sprawiają, że dziecko może uczyć się przez zabawę. Zabawki, również służące integracji sensorycznej, można łatwo zakupić, jednak większość tych urządzeń nie nadaje się do pracy z dziećmi z niepełnosprawnościami. Projekt *Kulek-Fakturek* jest skierowany właśnie do takich osób, do których standardowe zabawki nie są dostosowane. Opisywana łamigłówka, składająca się z wielu półkul o parami identycznych fakturach, może być wykorzystywana zarówno przez najmłodsze dzieci z ciężkimi niepełnosprawnościami, jak i przez pełnosprawnych dorosłych tracących wzrok, dzięki możliwości dostosowywania poziomu trudności w szerokim zakresie. Dodatkowo funkcjonalność dobierania dowolnej kombinacji bodźców gratyfikujących sprawia, że urządzenie będzie stymulowało osobę ćwiczącą w sposób dopasowany do jej potrzeb.

Po opublikowaniu artykułu wszystkie pliki projektowe, w tym pliki modeli 3D, projekt płytki drukowanej, instrukcja montażu i zaprogramowania obwodu, kod źródłowy, lista elementów gotowych (np. śrub, insertów, komponentów elektronicznych) zostaną nieodpłatnie udostępnione na stronie <https://github.com/PiotrBosowski/kulki-fakturki> na licencji pozwalającej na wytwarzanie, w tym dowolne modyfikowanie urządzenia z wykluczeniem użytku komercyjnego. Wykonanie własnego zestawu Kulek-Fakturek wymagać będzie dostępu do takich narzędzi, jak lutownica, drukarka 3D (wymagana FDM, opcjonalnie też SLA), programator (lub dowolne Arduino) komputer stacjonarny. Dokumentacja opisująca proces produkcji urządzenia została napisana z myślą o osobach potrafiących posługiwać się wymienionymi narzędziami w zakresie podstawowym, została także wzbogacona o krótki

instruktaż projektowania własnych faktur zewnętrznych w programie *Blender* oraz ich wydruk. Wykonanie urządzenia nie powinno zatem stanowić problemu dla studentów ostatnich semestrów studiów technicznych lub hobbystów wykorzystanych tu technologii, choć może być wyzwaniem dla osób nietechnicznych.

Pełny zestaw kilku urządzeń oraz komplet nakładek z fakturami zostanie przekazany Specjalnemu Ośrodkowi Szkolno-Wychowawczemu w Dąbrowie Górniczej. Prototyp *Kulek-Fakturek* został zaprezentowany specjalistkom z tego ośrodka już w początkowej fazie projektu. Zarówno pomysł na zabawkę dydaktyczną jak i wykonanie urządzenia zostały ocenione bardzo pozytywnie. Terapeutki zapewniły, że gotowe urządzenie będzie stanowiło praktyczną pomoc w pracy z podopiecznymi ośrodka.

LITERATURA

- [1] Oravec J.: Interactive Toys and Children's Education: Strategies for Educators and Parents, *Childhood Education*, 77:2, 2001, p. 81-85.
- [2] Ostrowska-Hażła J.: Motoryka mała i jej rola w procesie rozwoju mowy dziecka, *Kultura i Wychowanie*, 20/2021, 2021, s. 147-161.
- [3] Marti P. et al.: Creative Interactive Play for Disabled Children, *Proceedings of the 8th International Conference on Interaction Design and Children*, 2009, p. 313-316.
- [4] Machoś-Nikodem M.: Dzieci z autyzmem u logopedy – program diagnozy funkcjonalnej i terapii logopedycznej w świetle indywidualnych przypadków, *Konteksty Pedagogiczne*, 2014, s. 129-138.
- [5] Verver S. et al.: The use of augmented toys to facilitate play in school-aged children with visual impairments, *Research in Developmental Disabilities*, vol. 85, 2019, p. 70-81.
- [6] Robles-De-La-Torre G.: The importance of the sense of touch in virtual and real environments, *IEEE MultiMedia*, vol. 13, 2006, p. 24-30.
- [7] Vidal-Verdu F., Hafez M.: Graphical Tactile Displays for Visually-Impaired People, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 15, 2007, p. 119-130.

TACTILE BALLS, AN INTERACTIVE DEVICE FACILITATING THE DEVELOPMENT OF THE SENSE OF TOUCH

Abstract: The aim of the paper is to present a project of a puzzle facilitating the development of the sense of touch, *Tactile Balls*. The puzzle consists of a set of hemispheres, with pairwise identical textures. The task is to find and connect these pairs by studying their surfaces with the sense of touch. Making a valid connection is gratified with a set of stimuli. The paper shows the process of designing and manufacturing the device and evaluates its educational value based on the special therapy specialists' opinion.