

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ
KATEDRA BIOMECHATRONIKI**

**ZESZYTY NAUKOWE
KATEDRY BIOMECHATRONIKI**

ZESZYT nr 22
(grudzień 2022)

**AKTUALNE PROBLEMY
BIOMECHANIKI**

ZABRZE 2022

RADA PROGRAMOWA

Romuald Będziński
Lechosław B. Dworak
Marek Gzik – przewodniczący
Marek Mandera
Jan Marciniak
Stanisław Mazurkiewicz
Eugeniusz Świtoński
Andrzej Wit

REDAKCJA

Redaktor naczelny: **Robert Michnik**
Zastępca redaktora naczelnego: **Alicja Balin**
Redaktorzy tematyczni: **Edyta Kawlewska, Katarzyna Nowakowska-Lipiec**
Redaktor techniczny: **Dobrochna Fryc**

ZESPÓŁ REDAKCYJNY

Bogdan Bacik, Alicja Balin, Romuald Będziński, Tomasz Bielecki, Sławomir Duda, Damian Gąsiorek, Marek Gzik – przewodniczący, **Krzysztof Jamroziak, Jacek Jurkojć, Sławomir Kciuk, Dawid Larysz, Jerzy Małachowski, Arkadiusz Mężyk, Robert Michnik, Grzegorz Milewski, Zbigniew Paszenda, Celina Pezowicz, Ewa Piętka, Wojciech Wolański**

ISSN 1898-763X

Artykuły zostały opracowane z tekstów nadesłanych przez Autorów.
Wydano za zgodą Dziekana Wydziału Inżynierii Biomedycznej.

Wszystkie artykuły umieszczone w niniejszym czasopiśmie są recenzowane.

ADRES REDAKCJI

Katedra Biomechatroniki Politechniki Śląskiej
ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze

Tel: (+48 32) 277 74 70
Adres e-mail: [**apb@biomechanik.pl**](mailto:apb@biomechanik.pl)
www.biomechanik.pl/apb

SPIS TREŚCI

1. Mobilne urządzenie do nauki alfabetu Braille'a5
2. *Kulki-Fakturki*, interaktywne urządzenie wspomagające rozwój zmysłu dotyku...13
3. *DiscoBulbulator* - interaktywne urządzenie do terapii motoryki małej i integracji sensorycznej21

Szymon HUDZIAK¹, Małgorzata MUZALEWSKA²

¹SKN Ai-Meth, projekt Integral Senso, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

²Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

MOBILNE URZĄDZENIE DO NAUKI ALFABETU BRAILLE’A

Streszczenie: W celu pomocy osobom niewidomym opracowano urządzenie mające za zadanie usprawnić proces nauki alfabetu Braille’a. Zastosowany został mechanizm wykorzystujący mikro serwomechanizmy, kontrolowany za pomocą aplikacji mobilnej łączącej się z urządzeniem za pomocą komunikacji bezprzewodowej. Zaprojektowane urządzenie jest częścią współpracy ze Specjalnym Ośrodkiem Szkolno-Wychowawczym w Dąbrowie Górniczej.

Słowa kluczowe: Braille, edukacja, niewidomi, mechanika

1. WSTĘP

Urządzenie będące przedmiotem artykułu powstało jako pomoc edukacyjna w ramach współpracy Studenckiego Koła Naukowego Ai-Meth ze Specjalnym Ośrodkiem Szkolno-Wychowawczym w Dąbrowie Górniczej. Zgodnie z założeniami urządzenie miało służyć do usprawnienia procesu edukacji osób niewidomych i niedowidzących oraz tracących wzrok.

Osoby niewidome do czytania wykorzystują alfabet Braille’a. Jest to system, który polega na zapisie liter i liczb w formie sześciopunktu, czyli kombinacji wypukłych punktów ułożonych w 2 kolumnach, po 3 punkty w każdej. W prawidłowym sześciopunkcie, jeden taki punkt powinien mieć średnicę ok. 1,5 mm. Natomiast odległości pomiędzy poszczególnymi punktami powinny wynosić ok. 2,5 mm [1].

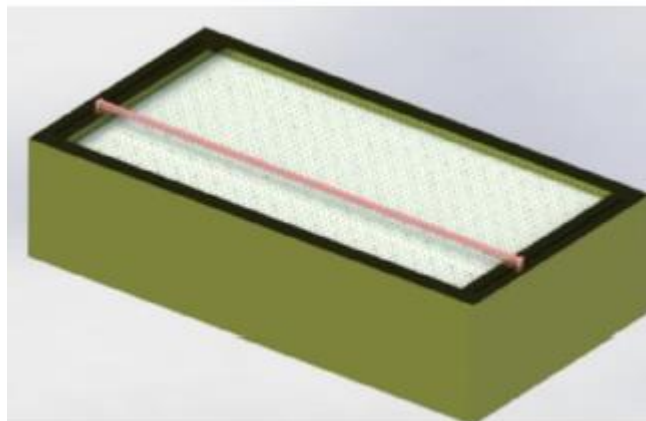
Popularnym rozwiązaniem, służącym do zamiany tekstu na jego reprezentację w alfabecie Braille’a, są monitory brajlowskie. Urządzenia te wykorzystują odwrotny efekt piezoelektryczny do podnoszenia lub opuszczania bolców tworzących sześciopunkt. Bolce te mają kształt zaokrąglonego walca i są umieszczone w otworach. Jedna komórka sześciopunktu zawiera sześć takich bolców w otworach. Takie urządzenia zazwyczaj posiadają od 20 do 80 komórek z sześciopunktami umieszczonymi obok siebie, tworząc poziomą linię, z której możliwe jest odczytywanie tekstu. Monitory brajlowskie służą przede wszystkim do korzystania z komputera przez niewidomych [2]. Przykład monitora brajlowskiego przedstawiono na rysunku 1. Wymiary tego przykładowego monitora to 310x119x18 mm, a jego waga to 825 g [3]. Z uwagi na skomplikowany mechanizm działania osiągają one wysokie ceny, przez co nie są dostępne dla każdego. Do tego przez ich gabaryty i wyświetlanie

dużej ilości znaków mogą nie sprawdzić się z wysoką skutecznością w przypadku nauki alfabetu Braille'a, szczególnie dla dzieci.



Rys.1. Przykład monitora brajlowskiego [3]

Innym istniejącym rozwiązaniem jest wyświetlacz brajlowski wykorzystujący bimetaliczne aktuatory, czyli dwa połączone paski wykonane z dwóch różnych metali, posiadających inne właściwości rozszerzania się pod wpływem ciepła. Ogrzewanie lub schładzanie takiego aktuatora powoduje jego wyginanie się. W tym urządzeniu, bolce tworzące sześciopunkt zostały osadzone na sprężynie i połączone z bimetalicznymi paskami, które po podgrzaniu wyginają się i umożliwiają ruch sprężynie wypychającej bolca. Schłodzenie aktuatora powoduje ściśnięcie sprężyny i wciągnięcie bolca z powrotem do wnętrza urządzenia. Aktuatory podgrzewane są poprzez podłączenie ich do napięcia. Do ich schładzania wykorzystywane są wiatraki. Urządzenie posiada kilkadziesiąt komórek pozwalających wyświetlać znaki alfabetu Braille'a [4]. Model urządzenia jest przedstawiony na rysunku 2. Wymiary główne omawianego urządzenia nie zostały podane przez jego autorów. Niedogodnością jest w tym przypadku stosowanie w urządzeniu komponentów niedostępnych powszechnie na rynku, co prowadzi do wzrostu kosztów urządzenia oraz utrudnia jego naprawę w przypadku uszkodzenia.



Rys.2. Model ostatecznej postaci wyświetlacza dotykowego dla niewidomych [4]

Dostępne jest również urządzenie wyświetlające znaki w alfabecie Braille'a wykorzystujące stopy metali z pamięcią kształtu. Mechanizm wyświetlania znaków wykorzystuje bolce osadzone na sprężynie, połączone z drutem z pamięcią kształtu. Po podgrzaniu drutu za pomocą prądu elektrycznego dochodzi do jego skurczenia, co powoduje wciągnięcie bolca do wnętrza urządzenia i ściśnięcie sprężyny. Odłączenie zasilania doprowadza do schłodzenia drutu i rozciągnięcia sprężyny. Bolec jest wypychany z powrotem do góry, a drut wydłuża się, co umożliwia wykonanie kolejnego cyklu. W przypadku omawianego urządzenia wykorzystującego stop z pamięcią kształtu, ilość sześciopunktów może być modyfikowana zwiększając lub zmniejszając liczbę modułów, gdzie jeden moduł zawiera pięć sześciopunktów [1]. Na rysunku 3 zostało przedstawione gotowe urządzenie w trakcie użytkowania. Twórcy urządzenia nie podali jego dokładnych wymiarów. Wadą tego rozwiązania jest konieczność podłączenia urządzenia do sieci elektrycznej, ze względu na konieczność pobierania dużej ilości energii do podgrzewania drutów. Ogranicza to miejsca, w których urządzenie mogłoby być stosowane do tych z dostępem do sieci energetycznej.



Rys.3. Urządzenie wykorzystujące materiał z pamięcią kształtu w trakcie użytkowania [1]

W celu nauczania alfabetu Braille'a stosowane są również klocki brajlowskie. Mają one postać prostopadłościanów, na których wytłoczone są znaki w alfabecie Braille'a [5]. Największym problemem w przypadku tego rozwiązania jest to, że znaki na klockach są znacznie powiększone w stosunku do rzeczywistych wymiarów sześciopunktu. Oznacza to, że takie klocki można stosować jedynie do nauki położenia bolców w określonych znakach, a nie do czytania tekstu zapisanego alfabetem Braille'a. Przykład klocków do nauki alfabetu Braille'a zaprezentowany został na rysunku 4.



Rys.4. Klocki brajlowskie [5]

Często stosowanym urządzeniem do uczenia alfabetu Braille'a są również drukarki brajlowskie. Użytkownik takiej maszyny może przesłać do niej tekst z komputera lub wprowadzić go ręcznie. Urządzenie następnie wytłacza wprowadzone znaki w alfabecie Braille'a na specjalnych arkuszach i umożliwia czytanie ich osobom niewidomym [6]. Niedogodnością przy korzystaniu z tego urządzenia jest konieczność używania specjalnego papieru do wydruku oraz brak możliwości zmiany raz wydrukowanego tekstu. W tym celu konieczne jest wykonanie nowego wydruku. Przykładowa drukarka brajlowska została przedstawiona na rysunku 5.



Rys.5. Drukarka brajlowska [6]

2. CHARAKTERYSTYKA OPRACOWANEGO MOBILNEGO URZĄDZENIA DO NAUKI ALFABETU BRAILLE'A

Skonstruowane urządzenie służy do nauki alfabetu Braille'a poprzez wyświetlanie pojedynczych znaków alfabetu Braille'a. Odbywa się ono poprzez wybijanie bolców z korpusu urządzenia oraz wciąganie ich z powrotem do wnętrza za pomocą mechanizmu złożonego z dźwigni i serwomechanizmów. Dzięki temu osoba niewidoma może odczytać znak za pomocą dotyku. Urządzenie ma na celu poprawienie jakości nauczania alfabetu Braille'a poprzez wyeliminowanie niedogodności związanych z innymi przyrządami dostępnymi na rynku. Wprowadzanie tekstu przeznaczonego do wyświetlenia odbywa się w czasie rzeczywistym za pośrednictwem aplikacji. Urządzenie ma postać prostopadłościanu o wymiarach 200x170x62 mm oraz wadze 620 g. Na jego górnej ścianie znajduje się sześciopunkt (o standardowych wymiarach czyli z bolcami o średnicy 1,5 mm i odległościami między nimi wynoszącymi 2,5 mm) oraz przyciski do jego obsługi (przycisk włącz/wyłącz oraz przyciski do przewijania kolejnych liter). Niewielkie gabaryty i waga urządzenia sprawia, że jest ono mobilne, czyli łatwo je przenieść w dowolne miejsce. Urządzenie posiada własne zasilanie w postaci 6 baterii AA, przez co użytkownik nie jest uzależniony od dostępu do sieci energetycznej.

2.1. Konstrukcja urządzenia

Do przyjętych założeń technicznych urządzenia należały:

- możliwość wyświetlania jednego sześciopunktu;
- bezprzewodowość;
- minimalizacja wymiarów zewnętrznych;
- minimalizacja wagi;
- minimalizacja ceny;

- obsługa za pomocą aplikacji mobilnej.

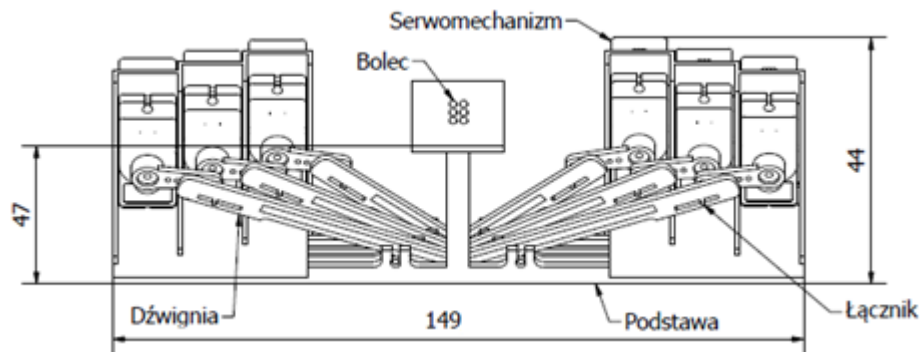
Najważniejszym elementem całego urządzenia jest mechanizm podnoszenia bolców w sześciopunkcie. Opracowanie go było kluczowe i jednocześnie najbardziej kłopotliwe z uwagi na wymaganą precyzję mechanizmu związaną z niewielkimi wymiarami sześciopunktu. Cały sześciopunkt powinien zawrzeć się w prostokącie o wymiarach 7x4 mm. Jeśli wymiary sześciopunktu zostałyby zbyt mocno zmienione w stosunku do rzeczywistych, istniałoby ryzyko, że osoba niewidoma nie będzie w stanie go odczytać na co zwracali uwagę specjaliści z SOSW w Dąbrowie Górniczej.

Początkowa koncepcja mechanizmu zakładała wykorzystanie siły magnetycznej. W pokrywie sześciopunktu umieszczone byłyby elektromagnes, których zadaniem byłoby podnoszenie bolców poprzez przyciąganie metalowych elementów, które byłyby do nich przytwierdzone. Po przeprowadzeniu testów dotyczących siły elektromagnesu w zależności od jego rozmiarów, liczby zwojów oraz zasilania, okazało się jednak, że koncepcja ta będzie trudna do zrealizowania w rzeczywistości. Skonstruowane wystarczająco silnego elektromagnesu do podniesienia bolca, wymaga dużej liczby zwojów nawiniętych na rdzeń oraz mocnego zasilania. Pod pojedynczym sześciopunktem znajduje się jedynie kilka milimetrów wolnego miejsca, co uniemożliwia umieszczenie tam elektromagnesu o zadowalających parametrach.

Podjęta została próba zmodyfikowania działania mechanizmu tak, aby elektromagnes przyciągały dźwignie wyprowadzone na boki sześciopunktu, których zadaniem byłoby podnoszenie bolców. Takie rozwiązanie umożliwia zastosowanie większych elektromagnesów, jednakże występuje wtedy znacznie większe zapotrzebowanie prądowe i konieczne byłoby zasilanie z sieci elektrycznej, a jednym z założeń urządzenia jest jego mobilność. Co więcej, elektromagnes w trakcie działania wytwarzają dużo ciepła, co niekorzystnie oddziaływałoby na urządzenie i mogło stwarzać potencjalne zagrożenie dla użytkownika przy długotrwałym korzystaniu z urządzenia. Konieczne byłoby wtedy wykonanie obudowy z materiału odpornego na temperaturę lub zastosowanie chłodzenia. Z tych powodów koncepcja stosowania siły magnetycznej w urządzeniu została porzucona.

Alternatywne wykonanie mechanizmu opierało się na wykorzystaniu drutu wykonanego z materiału z pamięcią kształtu. Jest to rozwiązanie podobne do opisanego we wcześniejszym rozdziale, jednakże w tym przypadku wytwarzany byłby tylko jeden sześciopunkt, co sprawia, że zasilanie bezprzewodowe byłoby wystarczające. Zakładało ono przewleczenie przez każdy bolca takiego drutu oraz oparcie bolca o sprężynę, co zapobiegłoby jego wpadnięciu do wnętrza urządzenia pod wpływem grawitacji. W tym przypadku wszystkie bolce byłyby początkowo wysunięte ponad płaską powierzchnię. Pod wpływem działania prądu następowałoby kurczenie się drutu i wciągnięcie bolca pod powierzchnię. Po odłączeniu zasilania, sprężyna wypychałaby go z powrotem do góry. Niestety na rynku niedostępne były komponenty z właściwymi parametrami. Próby skonstruowania mechanizmu podjęte na innych komponentach zakończyły się niepowodzeniem, gdyż druty były zbyt słabe, aby wciągnąć bolca. Co więcej do zmiany kształtu wymagały one dużej ilości prądu w krótkim czasie, co prowadzi do podobnych problemów jak w przypadku elektromagnesów.

Ostatecznie mechanizm ten został skonstruowany wykorzystując jeden z wcześniejszych pomysłów zakładających zastosowanie dźwigni. Jednakże zamiast elektromagnesów, poruszane są przez mikro serwomechanizmy zdolne obracać swoją oś o 180 stopni. Takie rozwiązanie sprawia, że układ jest czysto mechaniczny i przez to bardziej niezawodny. Co więcej, serwomechanizmy nie są w tym układzie znacznie obciążone, przez co nie pobierają one dużo prądu, co znacznie wydłuża czas pracy urządzenia. Realizacja tego mechanizmu została przedstawiona na rysunku 6.



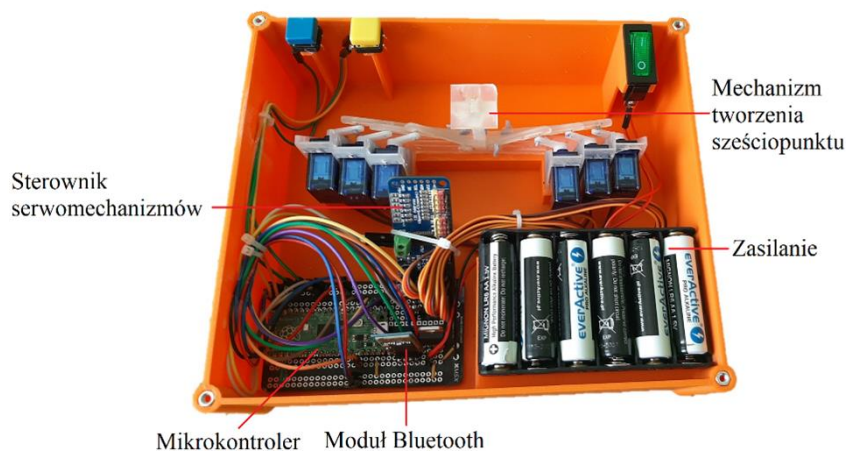
Rys.6. Mechanizm podnoszenia bolców sześciopunktu

Zgodnie z rysunkiem 6, centralną część mechanizmu stanowi podstawa, do której mocowane są pozostałe elementy. Orczyki serwomechanizmów są połączone z dźwigniami za pomocą łączników wykonanych ze stalowych drutów, zamocowanych na stałe w otworach orczyków. Otwory w dźwigniach, przez które przechodzą łączniki, mają podłużny kształt, aby nie doszło do zablokowania serwomechanizmu w trakcie ruchu. Podstawa mechanizmu, dźwignie oraz bolce są elementami, które muszą być wykonane z dużą precyzją, aby układ mógł działać poprawnie. Z tego względu, elementy te zostały wykonane z wykorzystaniem druku 3D metodą SLA.

Sterowanie serwomechanizmami w urządzeniu odbywa się za pośrednictwem mikrokontrolera Raspberry Pi Pico i sterownika serwomechanizmów PCA9685. To, jakie bolce zostaną w danym momencie podniesione lub opuszczone jest określone przez mikrokontroler na podstawie informacji odebranych od połączonego z nim modułu komunikacji bezprzewodowej. Oprócz tego urządzenie zawiera 2 przyciski służące do przewijania aktualnie wyświetlanego znaku w przypadku wysłania do urządzenia więcej niż 1 litery, a także przycisk służący do włączania i wyłączania urządzenia. Wszystkie te elementy wraz z zasilaniem są umieszczone w obudowie wykonanej z wykorzystaniem druku 3D metodą FDM. Obudowa jest wykonana inną metodą niż sam mechanizm sześciopunktowy, gdyż nie wymaga ona aż tak dużej dokładności, ani nie musi wytrzymywać wysokich temperatur. Wykonanie całego urządzenia zostało przedstawione na rysunku 7 oraz rysunku 8.



Rys.7. Zewnętrzna postać urządzenia



Rys.8. Rozłożenie komponentów wewnątrz urządzenia

2.1. Funkcjonalność

Urządzenie służy przede wszystkim do nauki alfabetu Braille'a i z tego powodu zakłada się udział dwóch osób podczas korzystania z niego. Pierwszą osobą jest nauczyciel, który wprowadza żądany tekst do aplikacji mobilnej po nawiązaniu połączenia z urządzeniem poprzez Bluetooth. Drugą osobą jest uczeń, którego zadaniem jest odczytanie danego tekstu w formie alfabetu Braille'a. Aplikacja wykorzystywana do obsługi urządzenia musi posiadać możliwość nawiązania połączenia z modułem komunikacji bezprzewodowej w urządzeniu oraz terminal, za pomocą którego wprowadzane będą dane.

Tekst wprowadzany w aplikacji może zawierać zarówno pojedyncze litery lub liczby, jak i całe słowa lub zdania. Po odebraniu wprowadzonych znaków przez moduł komunikacji bezprzewodowej, zostają one przesłane do mikrokontrolera, który konwertuje je na znaki alfabetu Braille'a poprzez określenie, które bolce należy podnieść, a które opuścić. Ta informacja zostaje przekazana do sterownika serwomechanizmów. Stosowanie sterownika jest konieczne, gdyż prąd pobierany przez serwomechanizmy mógłby uszkodzić kontroler w przypadku bezpośredniego połączenia. Następnie dochodzi do ruchu określonych serwomechanizmów i utworzenia sześciopunktu ponad płaską pokrywę urządzenia. Do przekazania napędu z serwomechanizmów na dźwignie, podnoszące i opuszczające bolce, wykorzystywane są łączniki przytwierdzone do orczyków. Do prawidłowego funkcjonowania urządzenia wymaga zasilania złożonego z 6 baterii AA.

Osoba korzystająca z urządzenia ma możliwość przejścia do wyświetlania następnego lub poprzedniego znaku za pomocą dedykowanych przycisków. Dzięki zachowaniu wymiarów sześciopunktu, osoby korzystające z urządzenia nie powinny mieć problemu z odczytywaniem znaków na urządzeniu.

3. PODSUMOWANIE

Mobilne urządzenie do nauki alfabetu Braille'a spotkało się z bardzo pozytywnym odzewem ze strony SOSW w Dąbrowie Górniczej. Najważniejszymi zaletami w stosunku do rozwiązań dostępnych na rynku jest prostota wykonania połączona z mobilnością urządzenia.

Dzięki stosowaniu rzeczywistych wymiarów sześciopunktu, minimalizowana jest szansa na niepoprawne odczytanie znaku i proces nauki zostaje znacznie usprawniony. Poprzez zastosowanie sterowania za pomocą aplikacji, obsługa urządzenia staje się znacznie wygodniejsza niż w przypadku podobnych urządzeń. Dodatkowo komponenty, z których złożone jest urządzenie są łatwo dostępne i tanie, przez co koszt wykonania tego urządzenia jest znacznie niższy od tych dostępnych na rynku. Wszystko to sprawia, że urządzenie to jest w stanie konkurować z rozwiązaniami stosowanymi do tej pory.

Dalszy rozwój urządzenia może doprowadzić do jeszcze większej miniaturyzacji oraz usprawnienia jego działania. Cały czas prowadzone są konsultacje z SOSW w Dąbrowie Górniczej w celu wprowadzania dodatkowych udoskonaleń. W planach jest również stworzenie drugiego wariantu urządzenia, w którym umieszczonych byłoby kilka sześciopunktów. Umożliwiłoby to szybszą naukę czytania osobom, które posiadają już podstawowe umiejętności.

LITERATURA

- [1] Singhal A., Jain P., Chanana P., Jain D., Paul R., Balakrishnan M., Rao P. V. M.: Application of Shape Memory Alloy (SMA) Based Actuation for Refreshable Display of Braille, 2013
- [2] Runyan N.H., Carpi F.: Seeking the 'holy Braille' display: might electromechanically active polymers be the solution?, Expert Review of Medical Devices, vol. 8, no. 5, 2011, p.529-532
- [3] <https://lumen.pl/p/23/368/qbraille-xl-notatniki-i-monitory-sprzet-brajlowski-oferta.html> (27.04.2022)
- [4] Sharma R.M. , Katiyar S, Singh S.: Mechanism Design for Improved Resolution in Refreshable Tactile Graphics, International Journal of Science and Research, vol. 8, no. 10, 2019, p.289-295
- [5] <https://zabawkismart.pl/sklep/zabawka-sensoryczna-klocki-do-nauki-jezyka-braille/> (27.04.2022)
- [6] <https://www.harpo.com.pl/zakupy/sprzet-dla-niewidomych-i-slabowidzacych/drukarki-i-maszyny-brajlowskie/> (27.04.2022)

MOBILE DEVICE FOR THE BRAILLE ALPHABET LEARNING

Abstract: The device was developed in order to help the blind and visually impaired people and make the process of learning the Braille alphabet easier for them. The mechanism used in the device consists of micro servomechanisms controlled by a mobile application through wireless communication. Creation of the device is part of the cooperation with the SOSW in Dąbrowa Górnicza.

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 łąmigłówki 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 łąmigłówki 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.

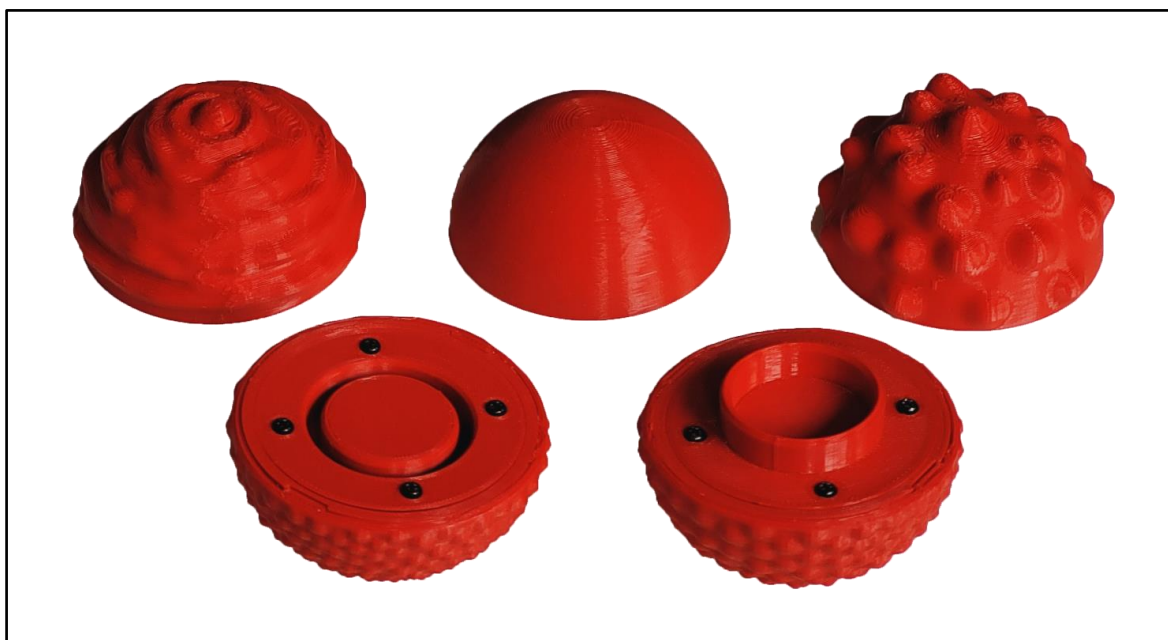
System gratyfikacji, pozwalający na wybór kombinacji trzech różnych bodźców działających na różne zmysły (dźwięku, wibracji i światła), sprawia, że *Kulki-Fakturki* można łatwo przystosować do wymagań osoby ćwiczącej. Jest to szczególnie pomocne w takich miejscach jak Specjalne Ośrodki Szkolno-Wychowawcze, 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 (górną), sposób połączenia (dół).

2. KULKI-FAKTURKI

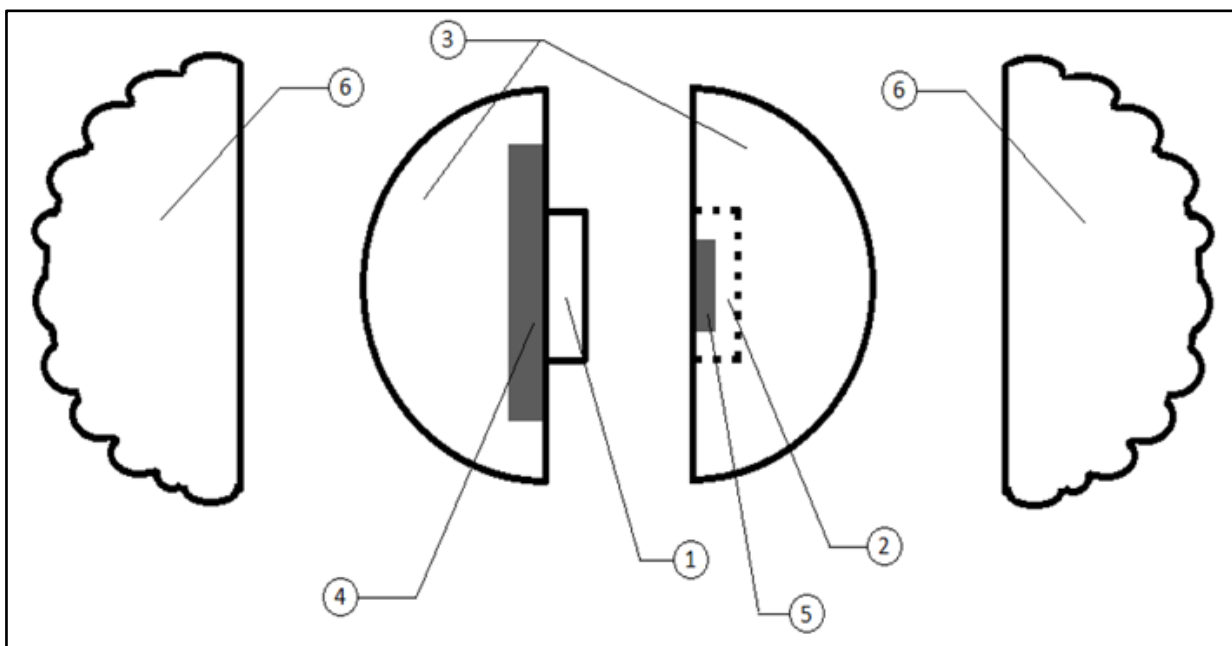
Rozdział opisuje *Kulki-Fakturki*, interaktywne urządzenie wspomagające rozwój zmysłu dotyku, od strony technicznej. Prototyp urządzenia przedstawiono na **Rys.1**.

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 otworzenia 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.



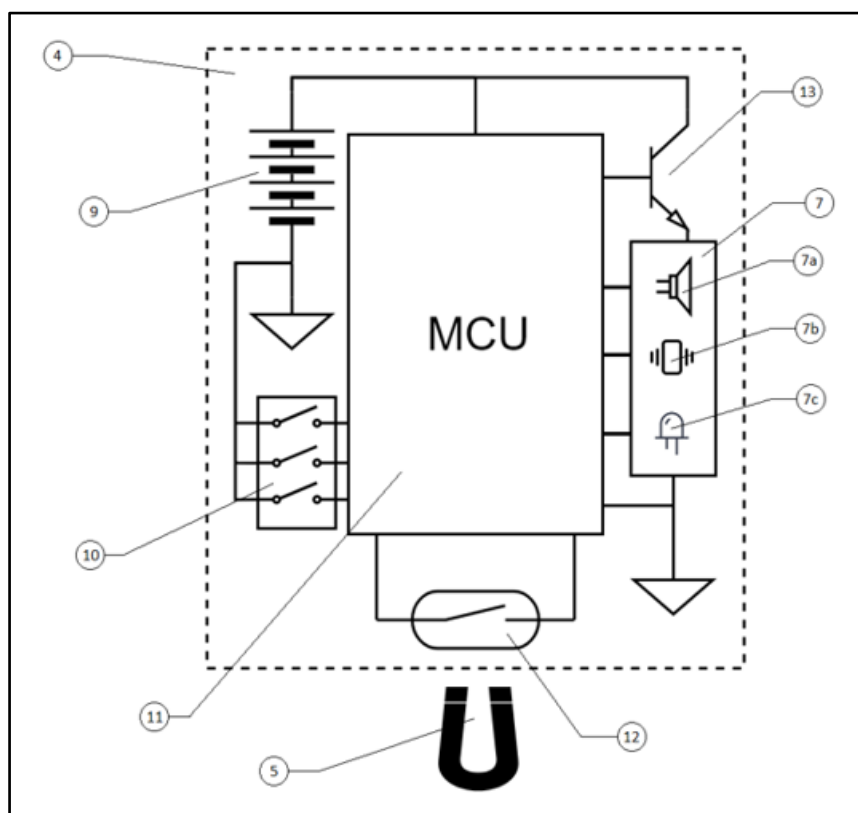
Rys.2. Przekrój przez zespół wypukłej i wklęsłej części z nałożonymi nakładkami z fakturami. (1) płaska część z wypukłym pierścieniem, (2) płaska część z wklęsłym pierścieniem, (3) obudowa, (4) płytka elektroniczna, (5) magnes, (6) nakładka z fakturą.

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 *Kulek-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 *Kulek-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 umożliwia 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 zewnętrzными 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.

Julia NOWAK¹, Małgorzata MUZALEWSKA²

¹SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI-METH, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

²Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

DISCOBULBULATOR - INTERAKTYWNE URZĄDZENIE DO TERAPII MOTORYKI MAŁEJ I INTEGRACJI SENSORYCZNEJ

Abstract: DiscoBulbulator to edukacyjne urządzenie terapeutyczne, pozwalające na wykonanie odpowiednich ruchów stylusem, co powoduje gratyfikację sygnałem dźwiękowym. Różnorodność stylusów oraz dodatkowych modułów i akcesoriów pozwala na urozmaicenie wykonywanych ćwiczeń polegających na zamknięciu ścieżki przewodu. Interaktywne urządzenie przeznaczone jest do terapii motoryki małej oraz integracji sensorycznej w pracy z dziećmi z niepełnosprawnościami.

Keywords: subject monitoring, psychophysiological state, EDA, HR, gait, rhythmic auditory stimulation

1. WSTĘP

Prawidłowy odbiór świata zewnętrznego jest konieczny w rozwoju każdego dziecka [1, 2]. Oprócz utrudnień związanych z niepełnosprawnościami, wiele dzieci dodatkowo dotknęły negatywne skutki pandemii COVID-19 związane z izolacją. Przez brak dostępu do naturalnych źródeł sygnałów słuchowych, wzrokowych czy dotykowych utrudniony został odbiór bodźców zewnętrznych, postrzeganie świata. Odpowiedzią na ten problem jest praca terapeutyczna z wykorzystaniem wyspecjalizowanych urządzeń, przy czym niestety na ogół nie spełniają one wszystkich potrzeb każdej z grup dzieci. Tym samym terapeuci mają ograniczoną możliwość prowadzenia efektywnych zajęć w zmieniających się warunkach. Aby ułatwić i urozmaicić pracę wielu specjalistów na bieżąco samodzielnie wytwarza i konstruuje pomoce edukacyjne posługując się łatwo dostępnymi materiałami oraz przedmiotami codziennego użytku. Między innymi dlatego podjęto się skonstruowania urządzenia terapeutycznego, służącego do pracy z dziećmi z niepełnosprawnościami, z zaburzonym odbiorem bodźców zewnętrznych. Głównymi cechami urządzenia jest rozwojowość, modułowość, możliwość szybkiego dostosowania do zmieniających się potrzeb użytkownika oraz prostota obsługi. Kolejną ważną cechą jest uniwersalność i możliwość szerokiego wykorzystania w różnorodnych ćwiczeniach, gdzie terapeuta ma dowolność doboru modułu i sposobu jego wykorzystania.

2. ISTOTA URZĄDZENIA

DiscoBulbulator (DB) to urządzenie o humorystycznej nazwie, skonstruowane aby wspomóc pracę terapeutów ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego (SOSW) z Dąbrowy Górniczej. SOSW jest jednym z największych ośrodków w Europie, którego kadra opiekuńcza i terapeutyczna zajmuje się szeroko rozumianą rehabilitacją i terapią dzieci z niepełnosprawnościami. Dzięki wizytom w ośrodku, licznym konsultacjom, wywiadom oraz ankietom zebrano informacje na temat aktualnych potrzeb w terapii dzieci, a w szczególności na temat terapii motoryki małej oraz terapii sensorycznej.

DiscoBulbulator jest interaktywnym urządzeniem terapeutycznym stworzonym do pracy z dziećmi i służącym do stymulacji zmysłów w terapii sensorycznej. Integracja sensoryczna (SI) jest dziedziną, w której odbierane przez człowieka bodźce z narządów zmysłów przetwarzane są tak, aby osoba wykazała odpowiednią na nie reakcję [3]. Działanie urządzenia polega na wykorzystaniu stylusów, modułów oraz akcesoriów dołączanych do bazy urządzenia i wspierających jego kreatywną obsługę w celu poszerzenia zbioru ćwiczeń w trakcie zajęć terapeutycznych z szerokiego zakresu tematycznego i uatrakcyjnienia ich o element zabawy [4]. Terapia sensoryczna staje się metodą efektywną w momencie wykorzystania zróżnicowanych bodźców stymulujących układ narządów zmysłów [1]. W pierwotnej wersji urządzenie pozwala na zastosowanie stylusów, które poprzez zetknięcie z wybranym przewodnikiem w postaci grafitu, wody, czy ciała ludzkiego – zamykają (przy spełnieniu określonych warunków) obwód elektryczny układu, co pozwala na przepływ napięcia w układzie i wywołuje regulowaną emisję sygnału dźwiękowego.

Opracowane urządzenie cechuje się możliwością łatwego dostosowania do potrzeb użytkownika w trakcie prowadzenia terapii, zaprojektowane z zamysłem dalszego rozwoju oraz rozbudowy wedle potrzeb terapeutów oraz pacjentów. Ćwiczenia wykonywane na urządzeniu dostosować można do szerokiego zakresu grup wiekowych użytkowników, ich predyspozycji, upodobań oraz dziedzin terapeutycznych. Urządzenie z powodzeniem można wykorzystać do ćwiczeń mięśni dłoni w terapii ręki [5], dzięki zadaniom związanym z wodzeniem stylusem w kształcie długopisu wzdłuż kształtów umieszczonych na kartach pracy, jak również w terapii logopedycznej w ćwiczeniu opartym o dokonywanie wyboru odpowiedniej karty z obrazkiem sylaby dzięki modułowi z przyciskami, a także w wielu innych.

2.1. Przegląd istniejących rozwiązań

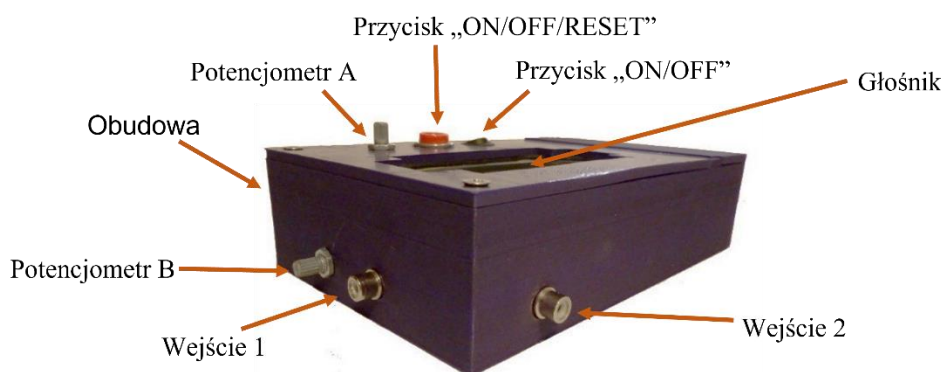
Na rynku znajduje się bardzo dużo rodzajów dedykowanego osprzętu do terapii SI [10,11,12]. Dużą część stanowią obiekty do stymulacji przedsionkowej, proprioceptywnej i dotykowej, stymulujące zmysły w trakcie ruchu, takie jak np. huśtawka, deskorolka, równoważnia, co przedstawiono na rys.1. Do aktywacji innej grupy zmysłów oferowane są fakturowe pomoce sensoryczne, obciążniki oraz przyrządy do stymulacji takie jak gry terapeutyczne i zabawki sensoryczne [6]. Spośród nich najmniejszą grupę stanowią urządzenia interaktywne.



Rys.1. Kategorie produktów do terapii sensorycznej [12]

3. INTERAKTYWNE URZĄDZENIE DO TERAPII MOTORYKI MAŁEJ I INTEGRACJI SENSORYCZNEJ

Skonstruowane urządzenie - DiscoBulbulator przedstawiono na rys.2.



Rys.2. DiscoBulbulator wraz z oznaczeniami elementów składowych

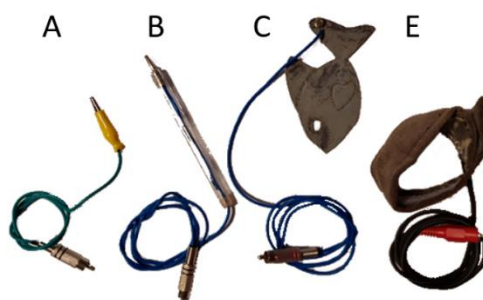
Zamodelowana w programie Autodesk Inventor obudowa urządzenia została wytworzona w technologii FDM (Fused Deposition Modeling - FDM) z poliaktydu (PLA). Następnie zamontowano na niej wszystkie komponenty, a wewnątrz umieszczono układ elektroniczny zawierający układ scalony NE 555 oraz głośnik.

3.2. Stylusy

Działanie urządzenia polega na podłączeniu wybranych stylusów bądź modułu do wejścia 1 oraz wejścia 2. Aktualnie dostępne stylusy przedstawione zostały w tabeli 1, gdzie najbardziej popularne to przykładowe stylusy przedstawione na rys.3.

Tabela 1. Tabela oferty stylusów

| Nazwa | Końcówka x | Wykorzystanie |
|----------|---------------------|---|
| STYLUS A | „Krokodylek” | Zaciśnięcie, podłączenie do przewodnika |
| STYLUS B | Rysik | Dotykание przewodnika |
| STYLUS C | Metalowa rybka | Umieszczenie w wodzie |
| STYLUS D | „Pastylka chwytana” | Trzymanie w dłoni |
| STYLUS E | Opaska zaciskowa | Zapinana na rzep na ręce |
| STYLUS F | Wiele „krokodylków” | Stylus rozgałęzia się na wiele końcówek stylusu A |



Rys. 3. Przykładowe stylusy

Stylusy wykonane są z przewodu, na którego jednym końcu jest złącze RCA („chinch”), a na drugim - końcówka stykowa o spersonalizowanym kształcie (przykłady przedstawiono na rys.3). Przewody są kolorowe i przyjemne w dotyku, a cały stylus skonstruowany tak, aby był wytrzymały na uszkodzenia mechaniczne, których spodziewać się można podczas pracy z dziećmi. Ponadto konstrukcja i sposób wytwarzania są wystarczająco proste, aby możliwe było szybkie stworzenie kolejnych modeli.

Po podłączeniu wybranych stylusów do urządzenia, istotą każdego z ćwiczeń jest doprowadzenie do połączenia się pośredniego tychże stylusów tak, aby obwód znajdujący się wewnątrz urządzenia został zamknięty, co doprowadzi do wydania przez urządzenie dźwięku. Tym sposobem terapeuta może dowolnie dobrać stylus do danego ćwiczenia.

Propozycje ćwiczeń oraz zastosowanych do nich stylusów to m.in. :

a) „Wodny Theremin” – polegający na wykorzystaniu stylusu C (rys.3. C) z końcówką w kształcie ryby oraz stylusu D (rys 3. D) z pastylką chwytną. Końcówkę w kształcie ryby umieszcza się w misie wypełnionej wodą, dziecko natomiast trzyma w dłoni pastylkę chwytną. Jeśli dziecko włoży dłoń do wody, to przy różnym położeniu dłoni dziecka w stosunku do ryby urządzenie wyda odpowiedni dźwięk.

b) „Ścieżki Grafitu” – polegające na wykorzystaniu stylusu B (rys.3. B) z końcówką w kształcie długopisu oraz stylusu A (rys.3. A). Terapeuta rysuje ołówkiem dowolny kształt na kartce papieru, mający początek u brzegu kartki tak, aby zacisnąć końcówkę stylusu A na narysowanym kształcie. Jeśli dziecko dotknie narysowanego kształtu końcówką długopisową stylusu B, to urządzenie wyda dźwięk.

c) „Labirynt Grafitu” – jest odwrotnym ćwiczeniem do „Ścieżki Grafitu”, gdzie dziecko ma za zadanie nie dotknąć narysowanych brzegów labiryntu.

d) „Dobre Karteczki” – polegające na wykorzystaniu stylusu F z wieloma końcówkami zaciskowymi oraz stylusu B z końcówką długopisową. Do każdej z końcówek zaciskowych dołącza się przygotowaną podkładkę, tak że tylko na jednej utworzona grafitem ścieżka łączącą ją z narysowanym u dołu podstawki punktem. Następnie nakłada się na podstawkę karteczki, a dziecko dotyka końcówką długopisową wybranej podstawki i jeśli wybrana została odpowiednia karteczka (np. na polecenie terapeuty „które zwierzę robi miau”, dziecko wybrało karteczkę z rysunkiem kota) urządzenie wyda dźwięk.

3.3. Dodatkowe moduły

Urządzenie wyposażone jest również w Moduł Literki przedstawiony na rys.4. Przykładem pracy z Modułem Literki jest ćwiczenie z wykorzystaniem uprzednio przygotowanych kart

z obrazkami: cztery karty umieszczone zostają na dedykowanych podstawkach, następnie aktywowane zostaje przełącznikiem ON/OFF w czarnym kolorze działanie odpowiadającego mu przycisku monostabilnego, dzięki czemu dziecko przy wyborze „aktywowanego” obrazka i naciśnięciu przycisku usłyszy dźwięk wydany przez urządzenie.

Możliwe jest aktywowanie więcej niż jednego przycisku, a w miejscu podstawek umieszczenie innych obiektów, takich jak np. figurki czy drobne przedmioty. Taki zabieg urozmaica ćwiczenia i wprowadza element zaskoczenia. Kolory przycisków monostabilnych dobrane zostały tak, aby umożliwić prowadzenie ćwiczeń, w których rozróżnianie kolorów jest kluczowym elementem. Obudowa modułu tak samo, wydrukowana została metodą FDM z materiału PLA w kolorze jasnej zieleni z dodatkiem brokatu tak, aby dodatkowo zachęcić użytkowników do pracy z urządzeniem.



Rys. 4. Moduł Literki

3.4. Pozostałe akcesoria

Aby wykorzystać cały potencjał urządzenia do wielu ćwiczeń potrzebne są również łatwo dostępne przedmioty codziennego użytku, takie jak ołówek, kartka czy miska z wodą oraz akcesoria typu: karty z obrazkami, karty pracy.

Karty z obrazkami są popularnym, graficznym sposobem przedstawiania wiedzy w trakcie zajęć z dziećmi. Wszystkie karty zawarte w pomocach edukacyjnych dostępnych w SOSW są kompatybilne z DiscoBulbulatorem, oraz użytkownik ma możliwość samodzielnego wykonania kart. Idea kart pracy polega na wykonaniu przez terapeutę na karcie wzoru, labiryntu, ścieżki łączącej dwa punkty. Terapeuta może dowolnie dostosować kształt czy wielkość wzorów, przystosowując karty do pracy z dziećmi z danego przedziału umiejętności manualnych. Wzór wykonuje się przewodnikiem, np. grafitem, przy pomocy ołówka.

Wykorzystywana w ćwiczeniu „Wodny Theremin”, woda pitna (wodociągowa) stanowi stymulator [7]. Podczas gdy w grze na instrumencie – thereminie, wykonuje się ruchy rękami wokół anten, w ćwiczeniu z DiscoBulbulatorem użytkownik manipuluje dźwiękiem poruszając dłonią w wodzie nalanej uprzednio do miski [8].

Punktami obwodu, które zetknięte zostaną z wodą jest stylus o końcówce w kształcie ryby, oraz dłoń użytkownika. Większość ćwiczeń dostosowana jest do dzieci z poważnymi zaburzeniami napięcia mięśniowego dłoni, zaburzeniami ruchowymi, dzięki zastosowaniu stylusu z opaską zaciskową. Tym sposobem wyeliminowana zostaje konieczność trzymania przez dziecko przedmiotu, a zamiast tego w ćwiczeniach może ono wykorzystać swoje dłonie.

3.5. Materiały przewodzące

Każdy z materiałów wykorzystywanych jako akcesorium posiada właściwości przewodzące. Dla materiałów izotropowych takich jak woda i grafit, rezystywność jest stała, oraz zachodzi zależność:

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (1)$$

Gdzie:

ρ – rezystywność [$\Omega \cdot m$]

R – rezystancja [Ω],

S – pole przekroju poprzecznego elementu [m^2],

l – długość elementu [m].

Do ćwiczeń zalecane jest użycie najłatwiej dostępnej wody pitnej, wodociągowej, której opór elektryczny właściwy w temperaturze pokojowej wynosi około $2,00 \cdot 10^1 [\Omega \cdot m]$. Natomiast opór elektryczny właściwy materiału w ołówku zależy od proporcji pomiędzy grafitem, a kaolinem zawartych w jego rdzeniu [13]. Im więcej grafitu występuje w rdzeniu, tym ołówek jest ciemniejszy oraz miększy, odnosząc się do skali w której oznaczenie H to zmniejszona, a B – zwiększona zawartość grafitu. Wykorzystanie do utworzenia karty pracy ołówka o oznaczeniu B, oznacza zmniejszoną rezystancję przewodnika, co usprawnia wykorzystanie karty pracy w ćwiczeniu z DiscoBulbulatorem.

Zachodzą różnice w dźwięku wydawanym przez urządzenie przy różnym położeniu końcówek stylusów w danym ośrodku. W ćwiczeniu „Wodny Theremin” użytkownik manipuluje dźwiękiem poruszając dłonią w wodzie nalanej uprzednio do miski, co reguluje wielkość nałożonej na układ rezystancji w zależności od odległości najdalszego punktu dłoni w stosunku do końcówki stylusu umieszczonego uprzednio w misie. Podobnie sytuacja wygląda przy wykorzystaniu kart pracy, gdzie w ćwiczeniu „Ścieżki Grafitu”, przykładając końcówkę długopisową w punkcie oddalonym o $\alpha > \alpha'$, urządzenie wyda dźwięk odpowiednio cichszy i mniej wyraźny dla punktu α , w stosunku do punktu α' .

Praca z DiscoBulbulatorem umożliwia również wykorzystanie ciała człowieka jako części obwodu elektrycznego. Dużą zaletą urządzenia jest możliwość wykorzystania dłoni dziecka do wykonywania ćwiczeń, dzięki czemu uatrakcyjnione zostają zajęcia terapeutyczne i ułatwiona zostaje praca z dziećmi z niepełnosprawnościami ruchowymi. Ciało dziecka jest przewodnikiem anizotropowym, a jego impedancja zależy od czynników biofizycznych rezystancji poszczególnych jego części. Rezystancja przejścia prądu elektrycznego przez skórę zależy od napięcia rażeniowego, powierzchni styku, siły docisku elektrody, zawilgocenia i stanu naskórka. Jedną z głównych przyczyn zmiany impedancji jest pocenie się dłoni dziecka w trakcie pracy terapeutycznej. Przepływ prądu przemiennego o wartości natężenia powyżej 50mA powoduje nieodwracalne negatywne skutki dla zdrowia i życia człowieka, a przy założonej wartości oporności ciała człowieka równej $1 k\Omega$, wiąże się to z przekroczeniem wartości napięcia równej 50V. DiscoBulbulator w obwodzie elektrycznym wykorzystuje maksymalnie 12% tej wartości. Zmiana impedancji ciała człowieka od napięcia rażeniowego dla suchego naskórka i drogi rażenia ręka-ręka maleje wraz ze wzrostem napięcia, natomiast napięcie wykorzystywane do prawidłowej pracy urządzenia jest niegroźne dla użytkownika przy stosownym wykorzystaniu stylusów, a droga przejścia napięcia elektrycznego przy

wykorzystaniu dłoni jest niewielka [9]. Opaska stylusu E nałożona zostaje na rękę dziecka, tak, że gdy dotknie ono przewodnika w postaci karty pracy, czy wody – napięcie pokonuje najkrótszą możliwą drogę, od końcówki palca wskazującego, do nadgarstka.

Niepożądany wpływ opisanych wyżej zjawisk na zmianę rezystancji, a co za tym idzie sygnału dźwiękowego urządzenia, użytkownik może kontrolować wykorzystując regulatory do korekty głośności oraz tonu dźwięku. W każdym z ćwiczeń sygnał dźwiękowy wykorzystywany jest nie tylko do sygnalizacji poprawności wykonywania ćwiczenia, ale również jako gratyfikacja, dlatego w urządzeniu zastosowano wyselekcjonowany głośnik, a podstawowy dźwięk wydawany przez urządzenie został przetestowany oraz skonsultowany ze specjalistami z SOSW, tak aby nie był drażniący ani nie zaburzał pracy dziecka.

4. WALIDACJA

W połowie roku akademickiego 2020/2021 DiscoBulbulator został przekazany terapeutom ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego z Dąbrowy Górniczej. Od tamtej pory urządzenie wraz z częścią stylusów jest czynnie wykorzystywane w trakcie zajęć terapeutycznych (rys.5). Stopniowo zasób akcesoriów uzupełniony został o kolejne stylusy oraz moduł. Do tej pory, urządzenie wykorzystane zostało w trakcie zajęć terapeutycznych podczas terapii SI, w pracowniach neurologopedycznych i tyflopedagogicznych, podczas zajęć z dziećmi z autyzmem, z Zespołem Downa, Mózgowym Porażeniem Dziecięcym, Zespołem Retta, oraz innymi schorzeniami. Użyteczność w ćwiczeniach w każdej z wyżej wymienionych dziedzin dowodzi uniwersalności zastosowania DiscoBulbulatora w pracy z różnymi grupami zaburzeń, oraz z różnymi grupami wiekowymi. Każdy ze specjalistów zajmujący się daną grupą zwrócił uwagę na inny aspekt pracy z urządzeniem. Terapeuci złożyli szereg pomysłów i próśb w stosunku do dalszego rozwoju urządzenia. W przyszłych iteracjach planowane jest wprowadzenie modyfikacji obudowy, powiększenie głównego korpusu, poszerzenie zasobu stylusów i modułów o nowe, innowacyjne rozwiązania. Rozważana jest zmiana sposobu zasilania urządzenia, co również pozytywnie przyczyniłoby się do zasilania dodatkowych modułów. Opinie dzieci na temat urządzenia okazały się być bardzo pozytywne. Ważny jest dla nich kolor obudowy, to że stylusy są przyjemne w dotyku. Kolejna iteracja powinna wyróżniać się nieszablonowymi oznaczeniami, zastosowaniem więcej niż jednego emitera sygnału gratyfikującego.



Rys. 5. Podopieczni SOSW ćwiczący z wodą (z lewej) oraz Modułem Literki (z prawej)

5. PODSUMOWANIE

Prace nad udoskonalaniem urządzenia cały czas trwają. Zaletą sprzyjającą rozwojowi DiscoBulbulatora jest prostota jego działania, wszechstronne zastosowanie oraz modułowość. Jako odpowiedź na potrzeby specjalistów z SOSW, interaktywne urządzenie do terapii motoryki małej i integracji sensorycznej spełnia podstawowe założenia, pozwalając na przeprowadzanie szeregu ćwiczeń terapeutycznych z wprowadzonym w ich przebieg gratyfikatorem w postaci sygnału dźwiękowego. Jest to jedna z niewielu tak wszechstronnych pomocy edukacyjnych, co pokazuje jak ważny jest kontakt z użytkownikiem oraz rozumienie jego potrzeb. Największym sukcesem jest uśmiech dzieci i zadowolenie podczas terapii, która stała się zabawą. Jeden mały użytkownik DiscoBulbulatora podczas wykonywania ćwiczenia ze stylusem o końcówce ryby oraz z misą wody mówił: „Bulga, robi bul bul bul! To jest BULBUL-atorek!”.

LITERATURE

- [1] Karga M.: Nieprawidłowa integracja sensoryczna jako składowa zaburzeń psychicznych występujących zarówno u dzieci, jak i młodzieży oraz dorosłych. „Psychiatria”, nr 13, 2016, s. 143-148.
- [2] A. Jean Ayres.: Dziecko a integracja sensoryczna. Harmonia Universalis, Gdańsk, 2015.
- [3] Maas, V. F.: Uczenie się przez zmysły. Wprowadzenie do teorii integracji sensorycznej. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1998.
- [4] Karga M.: Terapia zabawą, „Dziecko”, listopad, 2007, s. 86-88.
- [5] Szmalec J., Wyszyński D.: Terapia ręki od A do Z. Wydawnictwo Harmonia, Gdańsk, 2019.
- [6] Wenczyński B.: Zaburzenia integracji sensorycznej oraz ich oddziaływanie na rozwój dziecka w wieku przedszkolnym – w oparciu o teorię i praktykę pedagogiczną. Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzejewskiego, Kraków, 2019.
- [7] Hutny K., Ogonowska-Słowodnik A.: Integracja sensoryczna w wodzie. „Wiedza w praktyce”, nr 3, 2017, s. 35-40.
- [8] Kenneth D. S., Lindsay M. R., Vivienne M. Brendan D, Craig F: Physics of the Theremin, American Journal of Physics, vol.66, 1998, p.945-955.
- [9] Gierlotka S.: Rażenie człowieka prądem stałym i jego skutki. „Bezpieczeństwo w przemyśle”, nr 10, 2014, s.108-111.
- [10] <https://www.integracjasensorycznasi.pl/> (19.04.2022)
- [11] <https://www.sklep-kajkosz.pl/> (19.04.2022)
- [12] <https://si-is.pl/> (19.04.2022)
- [13] <https://asbury.com/resources/education/science-of-graphite/> (19.04.2022)

DISCOBULBULATOR - AN INTERACTIVE DEVICE FOR THE FINE MOTOR SKILLS THERAPY AND SENSORY INTEGRATION

Abstract: DiscoBulbulator is an educational therapeutic device that works based on user making appropriate movements with a stylus, which results in gratification with a sound signal. The variety of styluses as well as additional modules and accessories allows to diversify exercises performed during therapy sessions. Basic

premise of the device is to close the cable path. The interactive device is designed to be used in fine motor skills therapy and sensory integration for children with various disabilities.

