

Model końcowy innowacji społecznej pn. ‘Wibraap’ – instrumentu elektronicznego i aplikacji do odczuwania dźwięku przez wibracje

Piotr Peszat

Spis treści

1. Wibraap — opis urządzenia oraz aplikacji i ich przeznaczenie	3
2. Opis grupy docelowej	3
3. Charakterystyka grupy testującej	5
4. Specyfikacja urządzenia — parametry techniczne i sposób wykonania	5
4.1. <i>Hardware</i> — urządzenie	6
4.2. Schemat działania	7
4.3. <i>Software</i> — aplikacja	11
4.3.1. Software — aplikacja desktopowa	15
4.4. Dostępność Wibraap	18
5. Trzy serie testów urządzenia i aplikacji Wibraap	19
5.1. Pierwsza faza testów	19
5.2. Druga faza testów	24
5.3. Trzecia faza testów	33
6. Podsumowanie	44



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



1. Wibraap — opis urządzenia oraz aplikacji i ich przeznaczenie

Wibraap to urządzenie elektroniczne, które przetwarza dowolne dźwięki w wibracje odczuwalne przez ciało osoby niesłyszącej lub słyszącej. Urządzenie (*hardware*) funkcjonuje wraz z aplikacją (*software*) w wersji komputerowej i mobilnej¹. Rozwiązanie daje użytkownikowi możliwość podjęcia samodzielnej decyzji, który z trzech wymienionych poniżej trybów działania urządzenia, chciałby zastosować w danym momencie:

- 1) zaimportowanie plików dźwiękowych, a następnie przekształcenie ich w wibracje,
- 2) przekształcenie w wibracje dźwięku rejestrowanego przez mikrofon,
- 3) przekształcenie dźwięku powstałego w wyniku gry na elektronicznym instrumencie muzycznym w wibracje.

Celem innowacji p.n. Wibraap jest stworzenie urządzenia elektronicznego, które umożliwia wzmacnianie poza-słuchowego odczuwania muzyki. Pozwala ono na opracowanie nowych praktyk w tworzeniu i percepcji dźwięku, które na równoprawnych zasadach włączają w wydarzenia muzyczne również osoby g/Głuche.

2. Opis grupy docelowej

Podstawową grupą potencjalnych odbiorców są osoby g/Głuche i słabosłyszące, które są w dużym stopniu wykluczone z wydarzeń, których dominującym medium jest dźwięk, jak również nie mają możliwości percepcji muzyki w warunkach domowych. Urządzenie zostało opracowywane z myślą o młodzieży, osobach dorosłych i seniorach. W przyszłości grupa użytkowników może zostać powiększona o dzieci. Istotą zmiany jest

¹ Dostępne na systemach operacyjnych Android w wersji min. 6.0 *Marshmallow* (urządzenia mobilne) i min. Windows 10 (urządzenia stacjonarne — aplikacja desktopowa).

stworzenie demokratycznej, otwartej przestrzeni muzycznej, która włącza osoby niesłyszące, słabosłyszące oraz bez niepełnosprawności słuchu do wspólnego uczestniczenia w działaniach dźwiękowych.

Szereg działań aktywizujących osoby g/Głuche charakteryzuje próba umożliwienia im słyszenia. Biorąc pod uwagę różnorodność i złożoność przypadków niepełnosprawności słuchu, skupienie się wyłącznie na technologiach umożliwiających słyszenie nie spełnia kryterium powszechnej dostępności².

Ze względu na wykorzystanie kategorii percepcyjnej dostępnej zarówno dla osób g/Głuchych jak i słyszących, Wibraap pozwala na pogłębienie procesów integracji i otwierania kultury — szczególnie wydarzeń muzycznych — dla osób g/Głuchych. Biorąc pod uwagę konsultacje przeprowadzone z menadżerami festiwali muzycznych, istnieje możliwość, aby dzięki urządzeniu Wibraap, grupa osób niesłyszących stała się częścią ich publiczności, co pozwoli stworzyć wydarzenia inkluzywne, włączające szeroką publiczność. Na etapie planowania wydarzeń muzycznych zapraszani artyści mogą tworzyć kompozycje w oparciu o Wibraap, dzięki czemu g/Głusi i słyszący odbiorcy staną się równouprawnionymi uczestnikami wydarzeń. Cechą, która wyróżnia Wibraap od produktów podobnych jest jego mobilność i autonomia³. O ile *Sound Touch Set* wymaga transmisji bezpośrednio z reżyserki dźwięku, Wibraap dzięki wykorzystaniu mikrofonu wbudowanego w smartfon, tablet lub komputer, ma możliwość indywidualnego ustawienia przekształceń dźwięku przez użytkowników. W ten sposób umożliwia odbieranie muzyki osobom g/Głuchym nie tylko w filharmoniach czy na koncertach/festiwalach, ale przede wszystkim w domu. Ponadto, trzeci tryb działania urządzenia, umożliwiający grę na

² Np. w trakcie testów z osobami g/Głuchymi technologii słyszenia kostnego, okazało się, że metoda ta jest nieefektywna ze względu na różne stopnie i przyczyny niepełnosprawności słuchu.

³ Wibraap bazuje częściowo na mechanizmie wykorzystanym w *Sound Touch Set* (dalej: STS), czyli plecakach wibrujących, opracowanych na potrzeby Pol'and'Rock Festival, pozwalających na odbiór zjawisk dźwiękowych w formie wibracji.

instrumencie muzyczny, twórczo angażuje użytkownika, rozwijając jego kreatywność a także uwrażliwiając na dźwięk.

Wibraap nie należy traktować jedynie jako substytutu muzyki dla g/Głuchych, lecz przede wszystkim jako urządzenie wspierające percepcję dźwięku, atrakcyjną zarówno dla wspomnianej grupy niesłyszącej jak również odbiorców słyszących.

3. Charakterystyka grupy testującej

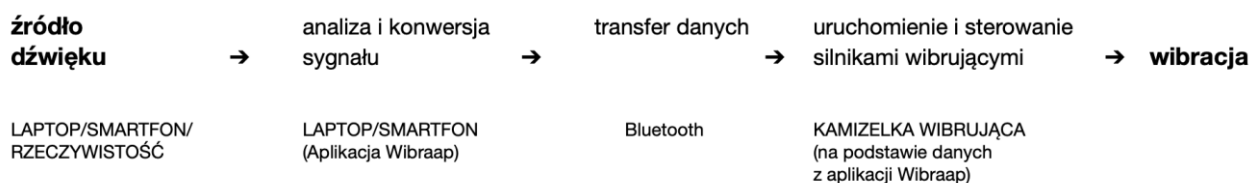
W trzech fazach testów wzięło udział osiem osób g/Głuchych o zróżnicowanym stopniu niepełnosprawności słuchu. Trzy spośród ośmiu osób nie korzystają z aparatu słuchowego, co determinowało odmienną metodologię testów — tj. pominięcie ćwiczeń porównawczych: z włączonym/wyłączonym aparatem. Pozostałych pięć osób korzysta z aparatu lub nosi implant. Z tą podgrupą poszczególne ćwiczenia przeprowadzono według schematu porównawczego — w pierwszej kolejności z wyłączonym aparatem/implantem, a także w sytuacji udziału instrumentalistów (klarnet, wiolonczela), odcięciu wrażeń wzrokowych, w celu zapewnienia bezpojęciowego odbioru wibracji. W dalszej kolejności, ten sam zestaw ćwiczeń był powtarzany w sytuacji włączonego aparatu/implantu oraz ew. percepcji wzrokowej żywego instrumentalisty lub odtwarzanych nagrań wideo muzyki klasycznej. Spośród grupy trzech osób niesłyszących nie korzystających z aparatu, dwie osoby testujące mają niepełnosprawność słuchu od urodzenia, a jedna straciła słuch w 2020 roku.

4. Specyfikacja urządzenia — parametry techniczne i sposób wykonania

Produkt składa się z dwóch komponentów: kamizelki wibrującej (*hardware*) oraz aplikacji (*software*) działającej na urządzeniu mobilnym (smartfon, tablet) lub stacjonarnym (komputer) na systemach operacyjnych odpowiednio Android i Windows. Ze względu na wykorzystanie urządzeń codziennego użytku (telefon, tablet, komputer) Wibraap jest w pełni dostępny dla szerokiego grona potencjalnych odbiorców. Sposób działania Wibraap polega na rejestrowaniu informacji (tj. dźwięków otoczenia, instrumentów, mowy,

etc.) przez wbudowany w urządzenie mikrofon a następnie przekształcenie zebranych danych w różnorodne formy wibracji. Komunikacja pomiędzy kamizelką wibrującą i aplikacją następuje przez moduł komunikacji bezprzewodowej Bluetooth.

Kamizelka została zaprojektowana do realizacji częściowej substytucji sensorycznej na płaszczyźnie dźwięk → dotyk. Biorąc pod uwagę przeprowadzone trzy serie testów w osobami g/Głuchymi i słabosłyszącymi, należy zaznaczyć, że substytucja sensoryczna nie jest możliwa do zrealizowania w pełnym zakresie (np. w sytuacji korzystania przez osoby g/Głuche z Wibraap z wyłączonym aparatem słuchowym). Warto jednak wspomnieć, że w trakcie testów Wibraap idealnie sprawdziło się jako urządzenie wspierające percepcję dźwięku. Algorytm odpowiedzialny za analizę dźwięku w czasie rzeczywistym generuje sygnał sterujący dla interfejsów sensorycznych. Proces konwersji dźwięku do formy wibracji obrazuje poniższy schemat (przykład 1.):



Przykład 1 Graf przedstawiający proces konwersji dźwięku. Źródło: Opracowanie własne.

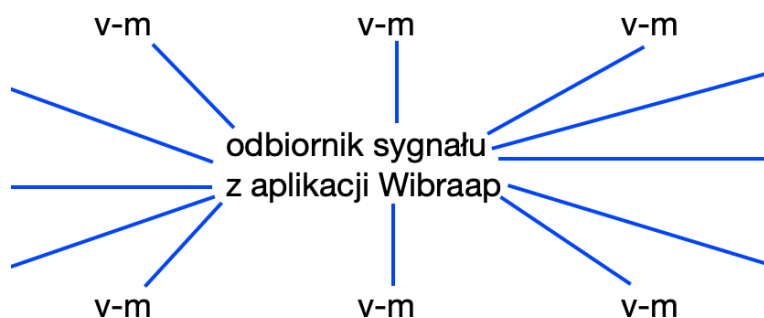
4.1. Hardware — urządzenie

U podstaw projektu stoi technologia haptyczna, która pozwala na komunikację z użytkownikiem za pomocą zmysłu dotyku. Mimo, że początki wykorzystywania sięgają lat 60-tych XX wieku, jej szybki rozwój przypada na XXI wiek i jest związany z rozwojem urządzeń mobilnych i rynkiem gier komputerowych. Technologia haptyczna pozwala na interakcję z użytkownikiem i wzbogaca jego doznania w kontakcie z urządzeniami elektronicznymi, jest szeroko wykorzystywana w telefonach komórkowych, grach komputerowych, kontrolerach, robotyce czy lotnictwie.

4.2. Schemat działania

Schemat działania jednej kamizelki wibracyjnej opiera się na wykorzystaniu następujących komponentów:

- Urządzeniem zarządza mikrokontroler JSP32 firmy ESP-WROOM-32 DEVKIT V1. Został on wybrany ze względu na niewielką cenę i dobre właściwości — tj. dwurdzeniowy procesor, moduł Bluetooth, 16 modułów PWM i wysoką prędkość taktowania (80MHz). Jeden rdzeń procesora jest przeznaczony wyłącznie do obsługi połączenia Bluetooth, podczas gdy drugi rdzeń realizuje obsługę urządzenia. Szesnaście *hardwarowych* modułów PWM pozwala na połączenie połowy (tj. 13) silników jednej kamizelki — stąd w jednym egzemplarzu wykorzystano dwa mikrokontrolery obsługujących razem 26 silników wibrujących. Zaletą *hardwarowych* modułów PWM nad *softwarowymi* jest ich autonomia działania — tj. nieobciążanie mikroprocesora — i prostsza obsługa. Urządzenie realizuje właściwości *Bluetooth Core 4.2* oraz certyfikat *Bluetooth Low Energy*. Na poniższym schemacie zaznaczone zostało połączenie silników wibrujących z jednostką centralną typu “gwiazda”. W przypadku ww. układu, każdy z silników jest połączony z mikrokontrolerem osobnymi kablami (przykład 2, 3, 4).



Przykład 1 Szkic zarządzania i przesyłania sygnału z mikrokontrolera do poszczególnych silników. Źródło: Opracowanie własne.

(amplituda, częstotliwość) za pomocą silników jest zdecydowanie bogatsza. Ponadto, w sytuacji, gdy jeden z silników przestanie działać, pozostałe będą pracować dalej, co gwarantuje zminimalizowanie ewentualnych zakłóceń⁴.

- Sygnał każdego z modułów PWM mikrokontrolera JSP32 jest wysyłany do wzmacniacza operacyjnego, który wzmacnia sygnał sterujący do poziomu wystarczającego do sterowania tranzystorem MOSFET DMT6009L w trybie kluczowym. Sygnał sterujący jest sygnałem typu PWM (*Pulse Width Modulation*) i jest odpowiedzialny za włączenie i wyłączenie silników wiracyjnych. Tranzystor został wybrany ze względu na jego szybkość działania i moc, która w momencie włączenia silników może osiągać 650mA, 3.6V. Elementy — wzmacniacze operacyjne, oporniki i tranzystory, zostały rozmieszczone na płytkach PCB montażem powierzchniowym, a pozostałe (w tym i płytka mikrokontrolera ESP) powlekany.
- Sygnał z tranzystora jest dostarczany do 26 silników wirujących Kotl JinLong Machinery. Są to silniki rotujące (ERM — *Eccentric Rotating Mass Vibration Motors*) o wymiarach 8.8 mm średnicy i 24.9 mm długości. Są one zasilane prądem elektrycznym o napięciu i natężeniu od 2.2 ~ 3.6V i 250mA. Silniki te obracają się z prędkością 12000 razy na minutę. Częstotliwość ich włączania i wyłączania jest sterowana mikrokontrolerem za pomocą sygnału *Pulse Width Modulation*. Silniki są podłączone do płytek PCB (na których znajdują się tranzystory) poprzez dwupinowe złącza, co pozwala na ewentualną szybką wymianę w razie uszkodzenia jednego z silników. Jak wspomniano powyżej, w przyszłości warto zmodyfikować połączenie — z dwupinowych złączy na bezpośrednie przylutowanie do płytki, co pozwoli na zmniejszenie rozmiarów części sterującej silnikami.

- Urządzenie jest zasilane dwoma napięciami: 5V i 3.2V. Napięcie 5V zasila płytke mikrokontrolera a 3.2V jest dostarczane do zasilenia silników wirujących. Napięcie jest pobierane z powerbanku mieszczącego cztery moduły akumulatorowe firm Samsung. Czas pracy urządzenia może różnić się w zależności od trybu i intensywności działania. Niemniej, średnio, nie powinien być mniejszy niż sześć godzin w przypadku ciągłego użytkowania⁵.
- Kamizelka — ściśle przylegająca do ciała i gwarantująca dopasowanie silników wibrujących do korpusu ciała użytkownika poprzez wykorzystanie dwóch pasków ściągających z możliwością regulacji (lepsze dopasowanie do sylwetki użytkowników). Materiał, z którego uszyta jest kamizelka jest odporny na rozciąganie, wytrzymały oraz nie doprowadza do przegrzewania urządzeń i uczestnika. Dodatkowo do kamizelki jest szaszetka na aparaturę — mikrokontrolery oraz schowek na moduł zasilający. Odseparowanie modułów sterujących i zasilających pozwala na dopasowanie stroju do indywidualnych preferencji użytkowników, różnych rodzajów niepełnosprawności (dostosowując się również do osób o alternatywnej motoryce, np. osoba poruszająca się o kulach lub na wózku inwalidzkim). Szaszetka jest zapinana na zamek w celu uniknięcia przypadkowego wypadnięcia któregoś z modułów. Podczas prac nad urządzeniem, zwracano szczególną uwagę, aby kamizelka była bezpieczna dla użytkownika, odporna na usterki związane z użytkowaniem, miała możliwość regulacji i dopasowania do sylwetki oraz w możliwie największym stopniu nie ograniczała swobody ruchu użytkownika.

Jedna kamizelka składa się z następujących podzespołów:

- 2x mikrokontroler JSP32 firmy ESP-WROOM-32 DEVKIT V1

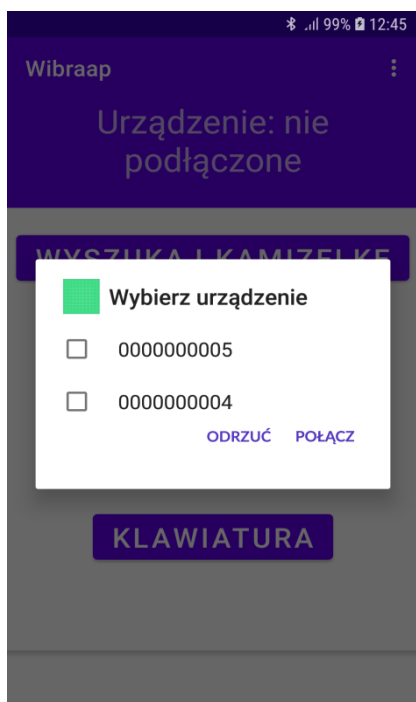
⁵ Maksymalny czas pracy urządzenia zależy od mocy z jaką działają poszczególne silniki wibrujące. W trakcie przeprowadzonych testów w pełni naładowany moduł zasilający (powerbank) pozwalał na użytkowanie kamizelki średnio przez sześć godzin.

- 26x silnik wibrujący ERM firmy Kotl JinLong Machinery
- 26x tranzystor MOSFET DMT6009L
- 8x czterokanałowy wzmacniacz operacyjny Texas Instruments
- 2x płytki PCB
- 26x przewód dwużyłowy sterujący silnikami o długości 35 cm
- 2x przewód dwużyłowy zasilający o długości 50 cm
- 1x powerbank mieszający 4 moduły akumulatorów firmy Samsung INR 18650-35E
- 1x plecak do biegania firmy Evadict, model Trail 5L, w kolorze czarno-brązowym
- 1x pokrowiec na akcesoria z bawełny organicznej, 28 cm x 20 cm, w kolorze czarnym.

4.3. Software — aplikacja

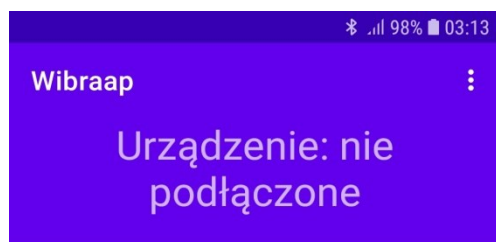
Aplikacja Wibraap w wersji mobilnej jest przeznaczona na smartfony i tablety z systemem operacyjnym min. Android 6.0. *Marshmallow*. W przypadku dostępnych obecnie smartfonów, jedno urządzenie mobilne jest w stanie wysyłać dane do dwóch kamizelek równocześnie. Aplikacja została stworzona w języku Java z wykorzystaniem API *Marshmallow*. Kod aplikacji został załączony do modelu końcowego w formie plików tekstowych nagranych na płycie CD.

Interfejs aplikacji mobilnej składa się z czterech przycisków (przykład 5., poniżej), z których najwyższy odpowiada za połączenie urządzenia mobilnego z kamizelką, a pozostałe trzy za aktywowanie wybranego trybu działania aplikacji.



Przykład 4 Połączenie urządzenia mobilnego. Źródło: Opracowanie własne.

Po naciśnięciu przycisku “wyszukaj kamizelkę”, aplikacja przez maksymalnie 10 sekund skanuje dostępne urządzenia, które pokazują się w oknie dialogowym w formie listy. Użytkownik może sam zdecydować, ile i które z kamizelek chciałby sparować z urządzeniem mobilnym (przykład 6.).



WYSZUKAJ KAMIZELKĘ

OTWÓRZ PLIK

MIKROFON

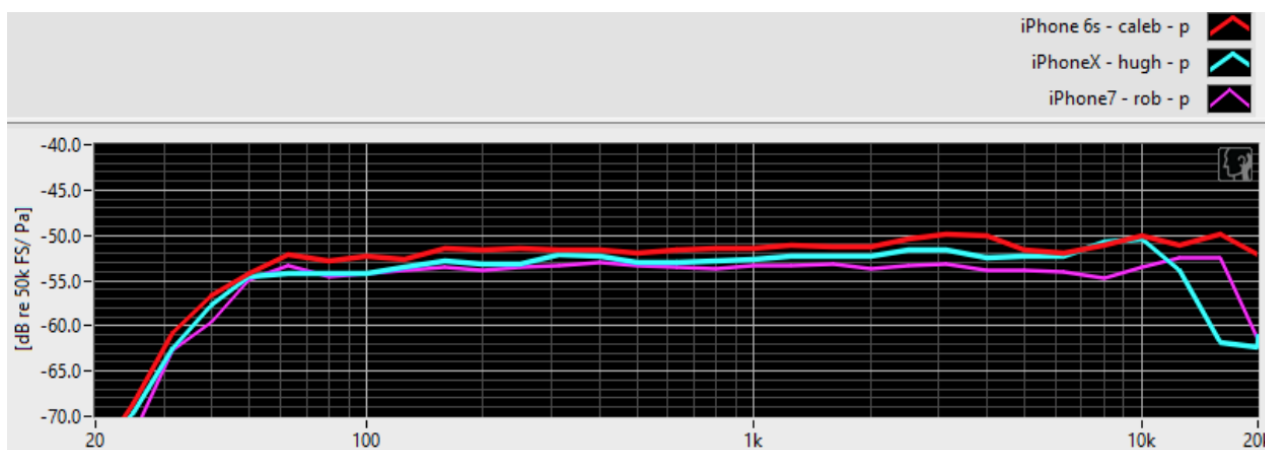
KLAWIATURA

Przykład 5 Panel główny aplikacji Wibraap. Zrzut ekranu ukazujący funkcje aplikacji.
Źródło: Opracowanie własne.

Podstawowe funkcje przypisane poszczególnym trybom działania aplikacji mobilnej:

- A. **Tryb A. ("Otwórz plik")** — w pierwszym trybie działania aplikacji, użytkownik może wybrać jeden z dziesięciu plików, które zostały przygotowane specjalnie na potrzeby działania Wibraap. Wskazane pliki powstały w wyniku analizy i konwersji utworów muzycznych do postaci liczbowej — tj. opisującej zmiany częstotliwości w skali 0-12 (nisko-wysoko) oraz amplitudy dźwięku w skali 0-7 (cicho-głośno). Siedem z dziesięciu przygotowanych plików, to kilkuminutowe fragmenty kompozycji Piotra Peszaty, natomiast pozostałe trzy pliki mają charakter wprowadzający w sposób działania urządzenia. Plik nr 8 uruchamia kolejne silniki (od 1 do 13) o stałym poziomie głośności; plik nr 9 uruchamia grupę silników nr 5-6-7-8 równocześnie ze zmiennym poziomem głośności (cicho-głośno-cicho); plik nr 10 uruchamia wybrane silniki w powtarzającym się schemacie o tym samym poziomie głośności, pozwalając użytkownikowi na jego rozpoznanie.

- B. Tryb B. ("Mikrofon")** — wybór drugiego trybu działania aplikacji w sposób automatyczny aktywuje mikrofon wbudowany w urządzenie mobilne i zaczyna transmitować dźwięki rejestrowane przez mikrofon. W kontekście omawianego trybu działania aplikacji, należy pamiętać również o ograniczeniach mikrofonu wbudowanego w urządzenie mobilne, którego charakterystyka przenoszenia jest ukierunkowana przede wszystkim na zjawisko ludzkiej mowy. Niemniej, przykład graficzny poniżej (przykład 7.) wskazuje charakterystykę przenoszenia mikrofonów wbudowanych w trzech modelach iPhone'ów: 6s, 7 i X, z zauważalnym spadkiem w okolicach 50-60 Hz w dolnej części pasma i powyżej 10 kHz w górnej.

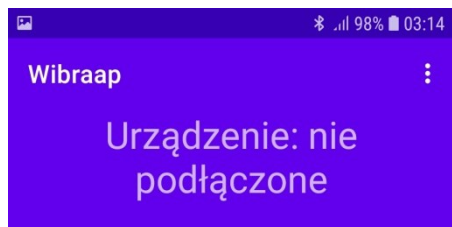


Przykład 6 Źródło: *Can You Use an iPhone's Internal Microphone for Acoustic Testing and Accurate Recordings?*, [www: Signales Sense](http://www.signalesense.com), dostęp z dnia 22.06.2021.

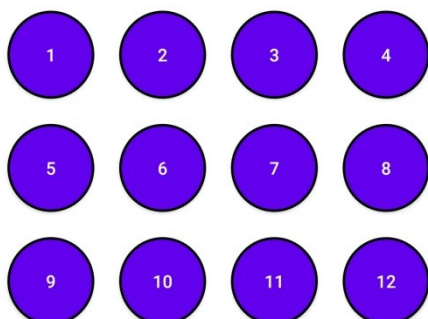
Należy więc przypuszczać, że pomimo ograniczeń w przenoszeniu najniższych i bardzo wysokich częstotliwości, mikrofon wbudowany w urządzenie przenośne statystycznie spełni swoją funkcję, co potwierdziły dwie serie testów (seria nr 2 i 3), w ramach, których weryfikowano rejestrację sygnału instrumentów akustycznych (wiolonczela, klarnet) oraz dźwięku wydobywającego się z głośników (dźwięk elektronicznego pianina, nagrania muzyki klasycznej).

- C. Tryb C. ("Klawiatura")** — uruchomienie trzeciego trybu działania aplikacji powoduje pojawienie się na ekranie dwunastu okrągłych przycisków (przykład 8.), których naciśnięcie wyzwała dwa zjawiska równocześnie: 1) zjawisko dźwiękowe — falę

dźwiękową o kształcie trójkątnym i określonej częstotliwości oraz 2) zjawisko haptyczne — wibrację o stałym poziomie głośności wybranego silnika kamizelki.



ZAMKNIJ



Przykład 7 Zrzut ekranu aplikacji obrazujący trzeci tryb działania aplikacji powodujący pojawienie się na ekranie dwunastu okrągłych przycisków. Źródło: Opracowanie własne.

4.3.1. Software — aplikacja desktopowa

Aplikacja Wibraap w wersji desktopowej jest przeznaczona na laptopy i komputery stacjonarne z systemem operacyjnym Windows w wersji min. Windows 10. Aplikacja została stworzona w języku C++. Kod aplikacji załączono do modelu końcowego w formie pliku tekstowego nagranego na płycie CD.

Interfejs aplikacji jest zbliżony do ekranu, który użytkownik kojarzy z programu w wersji mobilnej (przykład 9.).

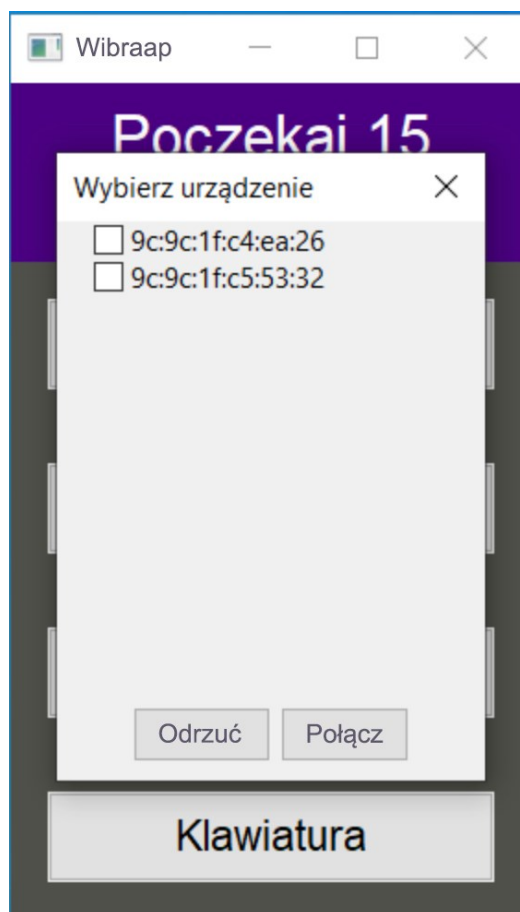
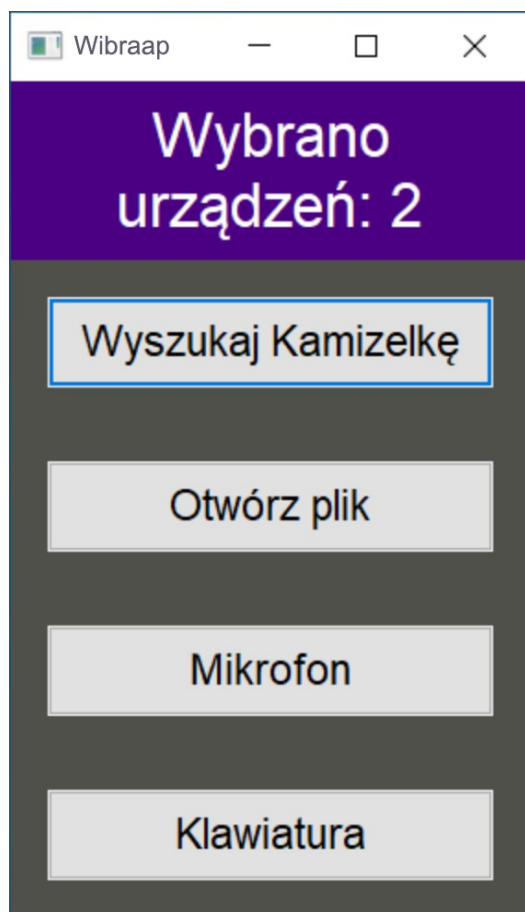


Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Przykład 8 Interfejs aplikacji desktopowej. Źródło: Opracowanie własne.

Podstawowe funkcje przypisane poszczególnym trybom działania aplikacji mobilnej:

- A. **Tryb A. ("Otwórz plik")** — pierwszy tryb działania aplikacji to jedyny element odróżniający wersję mobilną i desktopową. O ile w wersji mobilnej, użytkownik może korzystać jedynie z uprzednio przygotowanych plików (nagrania utworów przekonwertowane do formy ciągu wartości liczbowych sterujących wibracjami), o tyle w wersji desktopowej, może sam zaimportować plik w formacie .mp3 z dysku komputera a następnie odsłuchać go i równocześnie poczuć wibracje. Niestety ze względu na ograniczenia finansowe i czasowe, wskazana funkcjonalność nie została zrealizowana w aplikacji desktopowej. Z pewnością należy rozważyć jej zaimplementowanie w przyszłości, gdyż umożliwia korzystanie z urządzenia w zgodzie z własnymi preferencjami estetycznymi użytkownika.
- B. **Tryb B. ("Mikrofon")** — drugi tryb działania aplikacji desktopowej powinien działać w sposób analogiczny do wersji przeznaczonej na urządzenia mobilne, tj. korzystać z domyślnego dla urządzenia mikrofonu wbudowanego w urządzenie. Niemniej, w przypadku urządzeń stacjonarnych, pojawia się możliwość skorzystania z zewnętrznych interfejsów audio oraz mikrofonów zapewniających lepszą charakterystykę przenoszenia, lub chociażby mikrofonów połączonych z komputerem przez USB. Podobnie jak w przypadku trybu A. działania aplikacji desktopowej, opisana funkcjonalność nie została zaimplementowana do programu ze względu na ograniczenia czasowe i finansowe.
- C. **Tryb C. ("Klawiatura")** — ostatni tryb działania aplikacji desktopowej na poziomie konstrukcyjnym powinien działać analogicznie do wersji przeznaczonej na urządzenia mobilne, tj. generować jednocześnie zjawiska dźwiękowe i haptyczne. Wskazana funkcjonalność, podobnie jak dwie poprzednie, nie została zaimplementowana do programu ze względu na ograniczenia finansowe i czasowe. Niemniej, w przypadku omawianej funkcji, w wersji mobilnej i stacjonarnej programu, należy rozważyć w przyszłości modyfikację interfejsu do formy przypominającej klawiaturę fortepianu oraz jej synchronizację z klawiaturą komputera (tj. użytkownik korzystając z klawiatury komputera może grać różne wysokości, tj. gama c1-c2 rozpisana jest na klawiaturze

w taki sposób, że klawisze a, s, d, f, g, h, j, k odpowiadają białym klawiszom fortepianu a w, e, t, y, u czarnym).

Wysokość	c	c#	d	d#	e	f	f#	g	g#	a	a#	h	c
klawiatura komputera		w		e			t		y		u		
	a		s		d	f		g		h		j	k

Przykład 9 Interfejs aplikacji desktopowej w funkcji “Klawiatura” — przypisanie poszczególnych klawiszy instrumentu do wybranych przycisków klawiatury komputera.
Źródło: opracowanie własne.

W obecnym momencie, aplikacja w wersji desktopowej pozwala na połączenie jednej lub dwóch kamizelek do komputera (laptop lub komputer stacjonarny) przez system komunikacji bezprzewodowej Bluetooth. Podstawowy interfejs programu został zrealizowany (przykład 9, powyżej) wedle przyjętych założeń. Trzy funkcjonalności programu — tj. 1) “Otwórz plik”, 2) “Mikrofon” i 3) “Klawiatura” — w obecnej wersji programu wymagają gruntownego dopracowania. Ich brak realizacji wynika z ograniczeń czasowych i finansowych projektu.

4.4. Dostępność Wibraap

Ze względu na elastyczną tkaninę, kamizelka dopasowuje się do ciała użytkownika, uwzględniając czynniki, takie, jak skrzywienia kręgosłupa lub wady postawy. Silniki wibrujące, jak również moduły zasilające, są zamontowane w kamizelce w sposób nie krępujący ruchów osobom o alternatywnej motoryce (poruszającym się na wózku

inwalidzkim lub o kulach). Kamizelka posiada regulowane pasy (ściągacze), pozwalające na dokładniejsze dopasowanie urządzenia do ciała użytkownika.

Aplikacja została zaprojektowana zgodnie ze standardem WCAG i jest dostępna na systemach operacyjnych Android (urządzenia mobilne) i Windows (urządzenia stacjonarne, aplikacja desktopowa). Ze względu na wykorzystanie urządzeń codziennego użytku (telefon, tablet, komputer) urządzenie jest w pełni dostępne dla szerokiego grona potencjalnych odbiorców.

5. Trzy serie testów urządzenia i aplikacji Wibraap

W ramach fazy testowania urządzenia, zrealizowano trzy serie spotkań skoncentrowane wokół podstawowych form działania Wibraap. Ze względu na bezpieczeństwo uczestników w sytuacji pandemii wirusa *Covid-19*, testy zostały przeprowadzone w podgrupach dwuosobowych z towarzyszeniem tłumaczki PJM. W przypadku drugiej serii spotkań, osobom testującym towarzyszyło dwoje słyszących instrumentalistów zespołu Spółdzielnia Muzyczna contemporary ensemble — Tomasz Sowa (klarnet) i Jakub Gucik (wiolonczela). Dwie serie testów odbyły się w Apteka Janicki Gallery w Krakowie przy udziale tłumaczek PJM — Dominiki Feiglewicz i Agnieszki Kolankowskiej, prowadzącego testy — Piotra Peszata oraz programisty i konsultanta w zakresie technologii — Vladimira Gorokha. Trzecią serię testów zrealizowano w Akademii Muzycznej im. Krzysztofa Pendereckiego w Krakowie.

5.1. Pierwsza faza testów

Podczas pierwszej fazy testów grupa ośmiu osób z różnym stopniem niepełnosprawności słuchu⁶ po raz pierwszy fizycznie zetknęła się z urządzeniem

⁶ Opis niepełnosprawności słuchu grupy testującej znajduje się w rozdziale nr 3. *Opis grupy testującej*.

Wibraap, składającym się z kamizelki wibracyjnej oraz roboczej wersji aplikacji⁷. Wszystkie cztery spotkania w podgrupach dwuosobowych zostały przeprowadzone według uprzednio przygotowanego schematu. Niewielkie różnice pomiędzy poszczególnymi podgrupami wynikały z indywidualnych potrzeb uczestników. Oprócz zestawu ćwiczeń przeprowadzanych w trakcie testów, dodatkowym elementem determinującym ich strukturę był podział na dwie części: 1) z wyłączonym aparatem/implantem i 2) po włączeniu aparatu słuchowego. Wskazana struktura zapewniała bezpojęciowy odbiór bodźców haptycznych jak również brak sugestii ze strony dźwięków otoczenia czy mechanizmu działania kamizelki⁸.

5.1.1. Ćwiczenia 1A/B

Zadaniem rozpoczynającym każde ze spotkań była prezentacja utworu Piotra Peszata, który został przekonwertowany na ciąg wartości, opisujących:

- 1) częstotliwość dźwięku — w 13-stopniowej skali (od 0 do 12)⁹,
- 2) amplitudę dźwięku — poziom głośności w 8-stopniowej skali (od 0 do 7).

Pierwsze zetknięcie z urządzeniem należy traktować bezsprzecznie jako rzucenie osób testujących na „głęboką wodę”. Niemniej, wskazane działanie wynikało z potrzeby

⁷ W celu równoczesnego sprawdzenia następujących parametrów: a) komunikacji bezprzewodowej Bluetooth pomiędzy mikrokontrolerem a urządzeniem mobilnym, b) ew. komunikacji bezprzewodowej Bluetooth pomiędzy smartfonem a więcej niż jedną kamizelką.

⁸ Niejednokrotnie moc działania silników wibrujących sama w sobie generuje dźwięki. Niemniej, pierwsze wrażenie — tj. odbiór wysokiego/niskiego dźwięku generowanego przez silniki — jest najczęściej mylnie interpretowane, gdyż w istocie nie odpowiada dźwiękom wysokim/niskim, lecz mocy działania silników. Po przełożeniu na parametry muzyczne, dynamice — forte (głośno > wysoki dźwięk silników) i piano (cicho, niski dźwięk generowany przez silniki). Działa to w sposób analogiczny do odgłosów silnika samochodowego, w którym silnik pracujący na niskich obrotach wydaje niski dźwięk, a dopiero po naciśnięciu pedału gazu, zwiększa obroty a co za tym idzie podnosi się słyszalna wysokość pracy silnika.

⁹ Wartość 13 odpowiada trzynastu silnikom wibrującym znajdującym się w dwóch kolumnach, po lewej i prawej stronie kamizelki.

maksymalizacji postawy bezpojęciowej, bez wcześniejszego przygotowania czy rozumienia schematu działania. Niemal wszyscy testerzy mieli pozytywne odczucia, poza jedną osobą, której działanie kamizelki przywodziło na myśl wibrujący budzik. Ćwiczenie było przeprowadzane w różnych pozycjach, umożliwiających znalezienie postawy, w której kamizelka najlepiej przylega do ciała. Osoby testujące najczęściej decydowały się na pozycję stojącą, choć niektórzy uczestnicy wybrali pozycję siedzącą¹⁰. O ile wersja 1A ćwiczenia miała charakter poznawczy — pozwalała zaznajomić się z nową jakością percepcyjną, o tyle w ćwiczeniu 1B każdy z uczestników słuchając tej samej kompozycji Peszata, na bieżąco za pomocą gestów wskazywał punkty/miejsca, w których odczuwał wibracje oraz ich charakter (dynamikę, moc). Wskazane działanie określam jako aktywny odbiór, tj. sytuację wykraczającą poza estetyczne — przyjemnościowe — kategorie percepcji, a angażując proces analizy i potrzebę nazwania tego, co odczuwa osoba testująca.

5.1.2. Ćwiczenia 2A/B/C

Ćwiczenia 2A/B/C zaznajamiały uczestników z działaniem kamizelki. Każda z osób testujących poznała podstawowy schemat działania kamizelki oraz rozmieszczenia silników na plecach kamizelki.

Ćwiczenie 2A polegało na uruchamianiu silników w kolejności od najniższego (silnik nr 1) do najwyższego (silnik nr 13), tj. od lędźwiowej części pleców w kierunku części szyjnej kręgosłupa, według poniższego schematu:

¹⁰ Warto zaznaczyć, że rodzaj krzesła miał w tym momencie znaczenie, ponieważ w przypadku krzesła z plastikowym oparciem, wibracje generowane przez kamizelkę rozchodziły się po całym krześle, zaburzając precyzję odbioru. Alternatywą okazały się krzesła z miękkim, skórzanym lub materiałowym oparciem, które nie rezonowało od wibracji generowanych przez kamizelkę.

11 12 13	11 12 13
9 10	9 10
7 8	7 8
5 6	5 6
3 4	3 4
1 2	1 2

Kolejne wibracje były generowane w odstępach 0.5- oraz 1-sekundowych. Ćwiczenie było realizowane również w wariancie odwróconym, tj. począwszy od najwyższej umieszczonego (silnik nr 13) do najniższego (silnik nr 1). Celem ćwiczenia było rozpoznanie czy osoby testujące odczuwają wibracje na całym obszarze w jednolity sposób.

Ćwiczenie 2B polegało na uruchomieniu tego samego silnika lub grupy silników, w różnych rejonach — uśrednionych do 3, tj. najwyższy / średni / najniższy (13-12-11; 6-5; 2-1) — z różną mocą w ośmiostopniowej skali:

(min.) 0 < 1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7 (max.)

Celem ćwiczenia było rozpoznanie minimalnych różnic w mocy wibracji, odczuwalnych dla osoby testującej.

Ćwiczenie 2C polegało na odgadywaniu i wskazywaniu ręką położenia, kierunku i mocy odczuwanych na ciele wibracji. W tym wypadku silniki nie były uruchamiane według schematu najbliższej lokalizacji (np. 1-2-3-4), lecz wybierane losowo korzystając z całej trzynastostopniowej skali. W analogiczny sposób była traktowana moc wibracji, tj. determinowana losowo w obrębie ośmiostopniowej skali. Ćwiczenie miało na celu sprawdzenie, czy po serii zadań objaśniających działanie kamizelki (np. ćwiczenia 1A/B, 2A/B), wśród osób testujących ulega zmianie percepcja bodźców haptycznych oraz umiejętność ich klasyfikacji.

5.1.3 Podsumowanie pierwszej fazy testów

Pierwsze wrażenia przeważającej liczby osób testujących były bardzo pozytywne. Testerzy wskazywali na miłe odczucia, porównywali wibracje do masującego fotela. Jedna osoba spośród grupy ośmiu testerów nie czuła się w pełni komfortowo w sytuacji, gdy wibracje były mocne (osiągały wartość maksymalną, tj. 7) — czuła skojarzenia z wibrującym budzikiem. Jednak, gdy były delikatne lub miały średnią moc, podobnie jak pozostali uczestnicy, wskazywała na pozytywne odczucia. O ile w przypadku ćwiczeń 1A/B odczucia osób testujących były w pewnym stopniu zróżnicowane (tj. wskazywany punkt odczuwania wibracji nie zawsze pokrywał się z faktycznie działającym silnikiem). O tyle w przypadku ćwiczeń 2A/B wszystkie osoby testujące prawidłowo odczytywały kierunek wibracji (nisko/wysoko) jak również jej siłę (mocno/słabo). Należy wspomnieć, iż częstym komentarzem w momencie percepcji delikatnych wibracji, było odnoszenie się do momentu wibracji o dużej sile (np. wypowiedzi “Wcześniej było mocno, a teraz takie słabe”). Można przypuszczać, że dopiero po dłuższym zaznajomieniu się z nowym bodźcem, osoby testujące nabywają umiejętność identyfikowania coraz mniejszych różnic w mocy wibracji poszczególnych silników. Pierwsza faza testów pokazała również, że poszczególni uczestnicy odczuwają wibracje silniej/słabiej oraz w sposób zróżnicowany w odmiennych obszarach ciała. Jeden z testerów rostej postury, odczuwał wibracje o wiele słabiej, niż testerka drobnej postury, co jest o tyle zaskakujące, że w jego przypadku kamizelka o wiele ściślej przylegała do ciała.

Po serii spotkań w ramach pierwszej fazy testów wprowadzono poprawki do kodu aplikacji, umożliwiające szybsze przesyłanie danych pomiędzy aplikacją na urządzeniu mobilnym i kamizelką/kamizelkami. Pierwsza faza testów zakończyła się sukcesem w postaci pojawienia się pełnej grupy uczestników na kolejnych spotkaniach.



Zdjęcie 1 Dokumentacja fotograficzna pierwszej fazy testów. Autor zdjęć: Vladimir Gorokh.

5.2 Druga faza testów

Druga seria testów odbyła się z udziałem dwóch słyszących instrumentalistów, członków krakowskiego zespołu specjalizującego się w wykonawstwie muzyki współczesnej Spółdzielnia Muzyczna contemporary ensemble — Tomaszem Sową (klarnet) i Jakubem Gucikiem (wiolonczela). W trakcie spotkań poddano testom działanie urządzenia w zakresie analizy dźwięku instrumentu akustycznego oraz jego przekształcenia na wibracje.

W analogicznej formie do pierwszej fazy testów, każde ze spotkań fazy drugiej rozpoczynało “wysłuchanie” kilkuminutowego utworu granego przez jednego z muzyków (**ćwiczenie 3**). W sytuacji obioru muzyki, każda z osób testujących miała wyłączony aparat (o ile z niego korzysta) oraz była zwrócona tyłem do instrumentalisty/instrumentu.

Podobnie jak w pierwszej fazie testów, percepcja utworu przebiegała w sytuacji maksymalnego skupienia, a dopiero powtórzeniu towarzyszył aktywny obiór — tj. osoba testująca za pomocą gestów wskazywała punkty/miejsca, w których odczuwa wibracje oraz ich siłę.

5.2.1 Ćwiczenia 3A/B/C/D

Ćwiczenie 3A/B/C/D zaznajamiały uczestników z działaniem kamizelki w sytuacji interakcji z dźwiękiem jednego z instrumentów akustycznych (klarnet, wiolonczela).

Analizie zostały poddane następujące parametry:

- 1) **rejestr (3A)** — muzycy wykonywali materiał muzyczny w określonym rejestrze począwszy od najniższego przez środkowy i najwyższy. Materiał muzyczny opierał się na gamie chromatycznej w ramach jednej oktawy wybranego rejestru, granej powoli i powtórzonej kilkakrotnie. Celem ćwiczenia było rozpoznanie, z jednej strony, stopnia precyzji działania algorytmu identyfikującego częstotliwość dźwięku akustycznego. Z drugiej strony, rozpoznanie czy osoby testujące odczuwają wibrację w odmiennych punktach kamizelki, podążając za zmieniającą się wysokością dźwięku.
- 2) **dynamika (3B)** — muzycy wykonywali statyczny materiał w formie długiego nabrzmienia i wybrzmienia (trwający od 8 do 10 sekund, w zależności od instrumentu) oraz jego różne warianty: materiał rozpoczynający się głośno (*forte*) i stopniowo wygasający do dynamiki *piano*; materiał rozpoczynający się bardzo cicho (*piano*) i dążący do kulminacji w dynamice *forte*. Celem ćwiczenia było rozpoznanie czy osoby testujące odczuwają charakter zmian — narastający bądź wygasający oraz czy algorytm identyfikujący amplitudę dźwięku w precyzyjny sposób oddaje ww. zmiany.
- 3) **artykulacja (3C)** — muzycy wykonywali materiał dźwiękowy korzystając z różnych artykulacji możliwych na danym instrumencie: *legato* (płynie), *portato* (oddzielne wysokości), *staccato* (ostro, krótko, punktowo). Materiał dźwiękowy był prezentowany w powolnym tempie i wyrównanej, średniej dynamice oscylującej wokół *mp-mf*. Celem ćwiczenia było rozpoznanie możliwości odwzorowania parametru artykulacji w formie haptycznej oraz stopień jego percepcji przez osoby niesłyszące.

4) **tempo (3D)** — muzycy wykonywali dwa podstawowe warianty materiału muzycznego:

1) powtórzenia tej samej wysokości począwszy od powolnych do bardzo szybkich repetycji, 2) powtórzenia zróżnicowanych wysokości począwszy od powolnych do bardzo szybkich repetycji. Testowano również inwarianty podstawowego materiału muzycznego w postaci odwróconej — 1.1) powtórzenia tej samej wysokości począwszy od bardzo szybkich do powolnych repetycji, 2.1) powtórzenia zróżnicowanych wysokości począwszy od bardzo szybkich do powolnych repetycji. Ostatnim inwariantem był materiał zróżnicowany wysokościowo oraz rytmicznie (tj. brak wyraźnego procesu powoli → szybko, szybko → powoli. Ćwiczenie miało na celu rozpoznanie jak precyzyjnie i szybko osoby testujące są w stanie percypować zmiany, oraz jak wydajnie pracuje algorytm identyfikujący częstotliwość i amplitudę dźwięku.

5.2.2 Ćwiczenie 4 i 5A/B/C/D

W odróżnieniu od uprzednio opisanych ćwiczeń 3A/B/C/D, kolejne zadania odbywały się w sytuacji, gdy osoba testująca miała włączony aparat (jeśli z niego korzysta), oraz była zwrócona twarzą w kierunku jednego z grających instrumentalistów. Ćwiczenie nr 4 polegało na dwukrotnym powtórzeniu kilkuminutowego utworu granego przez jednego z instrumentalistów. Pierwsze wykonanie odbywało się w skupieniu, gdy osoba niesłyszająca mogła skupić się w pełni na fizjonomii i ekspresji muzyków oraz odczuwaniu wibracji fal dźwiękowych. Drugie wykonanie zostało rozszerzone o aktywny odbiór — osoba testująca za pomocą gestów wskazywała punkty/miejsca, w których odczuwa wibracje oraz ich siłę. W analogiczny sposób — tj. sytuacji włączonego aparatu oraz utrzymywania kontaktu wzrokowego z wykonawcą — przeprowadzono ćwiczenia 5A/B/C/D, które pod względem materii dźwiękowej odpowiadają ćwiczeniom 3A/B/C/D.

5.2.3 Podsumowanie drugiej fazy testów

Analiza w czasie rzeczywistym częstotliwości dźwięku akustycznego jest niezwykle wymagającym zagadnieniem ze względu na fakt, iż w przypadku otaczających nas dźwięków, nie mówimy o tonach prostych a dźwiękach złożonych. Np. naciskając klawisz na klawiaturze fortepianu tylko pozornie słyszymy pojedynczą wysokość. W rzeczywistości

jest to ton podstawowy oraz szereg kilkudziesięciu składowych odpowiadających np. za paramter barwy dźwięku. Częstokroć poszczególne składowe są niezwykle wyraźne w analizie spektrum dźwięku, a co za tym idzie wskazanie tonu podstawowego jest bardzo trudne dla algorytmu. Wskazany problem pojawił się szczególnie wyraźnie w trakcie testów z wiolonczelistą, gdy algorytm odczytywał różną wysokość w momencie, gdy muzyk grał ten sam dźwięk bliżej podstawka (sul ponticello — dźwięk bardziej metaliczny, mocniej nasycony wysokimi składowymi) lub sul tasto — dźwięk bardziej matowy, z mniejszą zawartością wysokich składowych. W przypadku testów z klarnetem, wskazany problem nie był aż tak zauważalny (w sytuacji powtórzeń danego dźwięku). Niemniej, należy przyznać, że algorytm odczytujący wysokość dźwięku instrumentu akustycznego, nie działał w pełni precyzyjnie.

Kolejnym problemem jest praca z dźwiękiem w zróżnicowanym akustycznie otoczeniu. Dążąc do maksymalnej użyteczności urządzenia, nie można zakładać jego poprawnego funkcjonowania jedynie w wyizolowanych/wytlumionych akustycznie warunkach. Innymi słowy trudno wyselekcjonować/wyizolować dźwięk instrumentu akustycznego jako jedyne źródło dźwięku, które jest poddawane analizie przez algorytm oparty na FFT¹¹.

W przypadku ćwiczenia nr 3 wszystkie osoby testujące odczuły przyjemność w pierwszym zetknięciu z dźwiękiem instrumentów akustycznych (klarnet, wiolonczela) przekształconych w czasie rzeczywistym w vibracje. Zdecydowana większość testerów podkreśla poprawę płynności funkcjonowania kamizelki (używa określeń np. „kamizelka

¹¹ W wielu zjawiskach dźwiękowych często mamy do czynienia z „nakładaniem” się sygnałów o różnych parametrach, w wyniku czego otrzymujemy przebieg wyjściowy będący sumą wszystkich sygnałów. Do „wyodrębnienia” poszczególnych sygnałów okresowych z takich przebiegów służy analiza fourierowska. Jej podstawą jest pojęcie transformaty Fouriera, a polega ona na rozłożeniu wyjściowego sygnału na sygnały składowe, gdzie sygnałami składowymi są funkcje sinus i cosinus o różnych okresach i amplitudach.

żyje”¹²). W momencie rozszerzenia ćwiczenia nr 3 o aktywne słuchanie (tj. wskazywanie gestem położenia/mocy działających silników), statystycznie w ok. połowie przypadków osoby testujące w prawidłowy sposób odczytały zmiany kierunku (wysoko/nisko) materiału muzycznego. Należy jednak zauważyć, że był to materiał nieregularnie zmienny w czasie, grany co prawda w spokojnym tempie, niemniej implikujący możliwość pomięcia pewnych zdarzeń. Jako o wiele bardziej wiarygodne przyjmuję rezultaty kolejnych ćwiczeń (3A/B/C/D), w których bardzo często występował problem rozpoznania wysokości dźwięku. Przyjmuję, że w pewnym stopniu wynikał on z opisanych powyżej problemów algorytmów odpowiedzialnych za tzw. *pitch tracking* — rozpoznawanie częstotliwości i przypisanie wysokości dźwięku. Niemniej, rozbieżności są zauważalne również w momencie porównania odpowiedzi udzielanych przez różne osoby testujące w reakcji na ten sam materiał wykonywany przez instrumentalistów.

O ile częstotliwość dźwięku była bardzo problematycznym parametrem. O tyle rozpoznawanie amplitudy dźwięku — poziomu głośności — w przeważającej większości dawało zadowalające rezultaty. Należy jednak zaznaczyć, że osoby testujące częściej reagowały na duże różnice dynamiczne (np. *ff/pp* — bardzo głośno/bardzo cicho) a w przypadku niewielkich różnic (np. *p-mp* — cicho/nieco głośniej) nie zwracały na nie uwagi¹³. Możliwe, że osoby testujące potrzebują więcej czasu na poznanie i przyzwyczajenie się do nowej formy percepcji. Na ten fakt wskazywała również jedna z testerek — o ile pierwsza seria testów kojarzyła jej się z “budzikiem”, o tyle w drugiej serii kamizelka “ożyła” — było to dla niej coś nowego i potrzebowała czasu na

¹² W pierwszej fazie testów szereg ćwiczeń objaśniających działanie kamizelki opierało się na skokowych zmianach położenia silników oraz ich mocy działania. W przypadku drugiej fazy testów skokowość zastąpiona płynnym charakterem zmian (lub. skokowość, jako cecha charakterystyczna dyskretnych wartości, była tak niewielka, że imitowała płynność > dźwięk analogowy/cyfrowy).

¹³ Powtórzenie sytuacji z pierwszej fazy testów, gdy osoby testujące w pewnym sensie oczekiwały mocnych wibracji.

zaakceptowanie nowej formy odczuwania wibracji na ciele. Wśród ośmiu osób testujących wystąpił jeden przypadek rozbieżności we wskazywaniu mocy działania silników — pomimo, że instrumentalista grał bardzo głośny dźwięk (o poziomie mocy wręczy słyszalnym dla osób przebywających w pomieszczeniu), osoba testująca wskazywała delikatną moc wibracji.

Część osób testujących realizowało ćwiczenia w pozycji stojącej a część w siedzącej, co pokazuje, że kamizelka spełniała funkcję w różnych układach ciała. Niemniej, podobnie jak w przypadku pierwszej serii testów, konieczne było wykorzystanie krzesła z miękkim oparciem i siedziskiem, aby uniknąć rezonowania silników na twardej powierzchni. Ponadto, szereg osób wskazywało na przenoszenie drgań przez ceramiczną podłogę przestrzeni, w której odbywały się testy. Z tego względu niektóre ćwiczenia zostały powtórzone na dywanie.

O ile wyniki testów w sytuacji wyłączzonego aparatu i braku możliwości wzrokowej percepcji instrumentalistów nie są zadowalające. O tyle zaskakujące są opinie osób testujących poczynawszy od ćwiczenia 4 i 5A/B/C/D — tj. od momentu włączenia aparatu i kontaktu wzrokowego z instrumentalistą. W zdecydowanej większości osoby te odczuwały wibracje lepiej a zmysł wzroku wzmacniał ich odczucia. Wielu testerów wskazywało na rezonowanie ciała i wskazywało na korelacje tego, co widzą i słyszą, z tym, co czują poprzez kamizelki¹⁴. Jest to dość zaskakujące, że pomimo znacznej rozbieżności w odróżnianiu dźwięków wysokich/niskich z wyłączonym aparatem (ćwiczenia 3A/B/C/D) wszystkie osoby testujące po włączeniu aparatu wskazywały na zbieżność tego, co widzą i słyszą, z tym, co czują.

Należy wskazać jeden przypadek, gdy prowadzący odczuł lekką irytację osoby testującej, wyrażoną chęcią pominięcia części ćwiczeń z wyłączonym aparatem

¹⁴ Poza trzema osobami testującymi, które nie korzystają z aparatów/implantów.

(3A/B/C/D) i przejścia do zadań z włączonym aparatem (5A/B/C/D). Możliwe, że reakcja osoby testującej wynikała z faktu, że z włączonym aparatem była świadkiem przeprowadzenia ćwiczeń 5A/B/C/D z poprzednią osobą testującą, tzn. nie podchodziła do testów w pełni bezpojęciowo, lecz nabrała określonych oczekiwań.

Druga faza testów dała o wiele bardziej zróżnicowane wyniki niż pierwsze zetknięcie się osób niesłyszących z Wibraap. Z jednej strony uwypukliła problem złożoności analizy częstotliwości dźwięku w momencie testów z instrumentami akustycznymi i wynikający z niego brak precyzji w działaniu urządzenia. Z drugiej strony jednak, pomimo wskazanych rozbieżności, każda z osób testujących na zakończenie spotkania wskazywała, że chciałaby korzystać z ww. urządzenia w sytuacji koncertowego odbioru muzyki. Na podstawie drugiej fazy testów, należy zaznaczyć, że w 5 na 8 przypadków Wibraap nie spełniło zadania substytucji zmysłów dla osób niesłyszących korzystających z aparatu słuchowego w momencie jego wyłączenia¹⁵. Dopiero w momencie włączenia aparatu z równoczesną aktywnością percepcji wzrokowej, osoby zaczęły odczuwać wibracje w sposób „muzyczny”. Jedna z osób testujących wypowiadała się o urządzeniu w następujący sposób: „Z mojej strony fajnie było poczuć różne wibracje. Na „ślepo” ciężko było mi stwierdzić, czy to ciche dźwięki czy głośne wysokie. A kiedy mogła zobaczyć wiolonczelę jak grał, to zaczęłam coraz lepiej czuć się z wibracjami. Chyba wibracjami mogłabym nauczyć nie grać na wiolonczeli”.

Przypuszczam, że Wibraap — biorąc pod uwagę relacje osób testujących — może zafunkcjonować jako narzędzie wzmacniające odczuwanie muzyki. Niemniej, na tym etapie, w większości przypadków, nie jest w stanie w pełni zastąpić słuchowej percepcji, nawet, jeśli odbywa się ona przez aparat słuchowy.

¹⁵ Jedna osoba testująca niesłysząca i nie korzystająca z aparatu odczuwała wibracje.



Zdjęcie 2 Dokumentacja fotograficzna drugiej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.



Zdjęcie 3 Dokumentacja fotograficzna drugiej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.



Zdjęcie 4 Dokumentacja fotograficzna drugiej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.



Zdjęcie 5 Dokumentacja fotograficzna drugiej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.



Zdjęcie 6 Dokumentacja fotograficzna drugiej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.



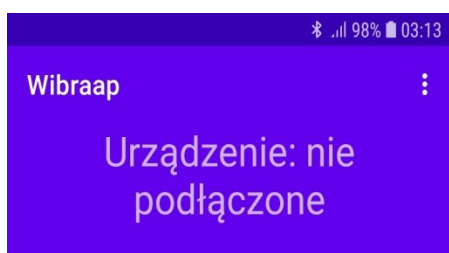
Zdjęcie 7 Dokumentacja fotograficzna drugiej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.

5.3 Trzecia faza testów

W trakcie trzeciej serii testowano funkcjonalność, intuicyjności i stabilność działania aplikacji Wibraap przeznaczonej na urządzenia mobilne (smartfon, tablet) z systemem operacyjnym Android. Każde ze spotkań rozpoczynało się omówieniem interfejsu aplikacji,

składającego się z 4 głównych przycisków, odpowiadających za uruchomienie poszczególnych funkcji (przykład 11. poniżej):

- A. połączenie urządzenia mobilnego z kamizelką,
- B. odtwarzanie utworu,
- C. uruchomienie mikrofonu,
- D. uruchomienie klawiatury.



WYSZUKAJ KAMIZELKĘ

OTWÓRZ PLIK

MIKROFON

KLAWIATURA

Przykład 10 Interfejs aplikacji desktopowej. Źródło: Opracowanie własne.

Wszystkie osoby testujące podkreślały intuicyjność interfejsu aplikacji (w około połowie przypadków czekając na polecenie nawigowania po poszczególnych funkcjach, natomiast, w połowie działając samodzielnie — aktywując lub dezaktywując w prawidłowy sposób wybrane opcje aplikacji). W trakcie trzeciej fazy testów, interfejs aplikacji

utrzymany był w języku angielskim. Niemniej, wszystkie osoby testujące wskazały na preferowany język polski interfejsu:

- *search remote device* → wyszukaj kamizelkę,
- *open file* → otwórz plik,
- *microphone* → mikrofon,
- *keyboard* → klawiatura.

Zgodnie z uwagami osób testujących po trzeciej fazie testów język interfejsu aplikacji mobilnej został zmieniony na język polski.

5.3.1 Klawiatura

W dalszej części spotkań pierwszym zadaniem było testowanie działania funkcji klawiatury, która w wersji mobilnej aplikacji sprowadza się do dwunastu przycisków (przykład graficzny poniżej):

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

Przykład 11 Klawiatura w wersji mobilnej, numeracja od 1 do 12. Źródło: Opracowanie własne.

Naciśnięcie poszczególnych klawiszy wyzwała jednocześnie dwa zjawiska:

- A. zjawisko dźwiękowe — falę dźwiękową o kształcie trójkątnym i określonej częstotliwości,
- B. zjawisko haptyczne — uruchamia jeden z silników wibrujących¹⁶

Fala trójkątna została wybrana ze względu na większe nasycenie niż fala sinusoidalna, niemniej, o delikatniejszej barwie niż mocno nasycone (a co za tym idzie niekoniecznie przyjemne w odbiorze) fale typu kwadratowego lub piłokształtnego. Skala częstotliwości zjawisk dźwiękowych obejmuje szereg dwunastu częstotliwości w zakresie od 160 do 3800 Hz¹⁷. W trakcie testów użytkownicy natrafili na kilka błędów, jak np. niedziałające przyciski (generujące dźwięk a nie wysyłające wibracji do kamizelki). Po zakończeniu trzeciej fazy testów zostały one poprawione w kodzie aplikacji. Funkcja klawiatury, pomimo możliwości swobodnego kształtowania muzyki, ograniczonej w możliwościach improwizacji, spełnia również funkcję poznawczą i pozwala na lepsze zrozumienia mechanizmu działania urządzenia. Tzn. ze względu na przypisanie poszczególnych przycisków do wybranych silników kamizelki, naciskając je po kolei, osoba testująca uczy się, że wibracje można odczuwać w sposób punktowy i precyzyjny, że silniki umiejscowione nisko odpowiadają dźwiękom o niskiej częstotliwości/wysokości a zamontowane wysoko, dźwiękom o wysokiej częstotliwości/wysokości. Dlatego też, po krótkim wprowadzeniu, testowanie funkcji “klawiatury” zostało umiejscowione jako pierwszy element każdego ze spotkań trzeciej fazy testów.

¹⁶ Co prawda w każdej kamizelce znajdują się dwa komplety 13 silników, natomiast ze względu na przejrzystość interfejsu — trzy rzędy po cztery przyciski — zdecydowałem się ograniczyć ilość wykorzystywanych silników do 12. Ponadto, silniki nr 11, 12, 13 są zamontowane bliżej siebie, w jednym rzędzie niż silniki nr 9, 10, tak, więc różnica w miejscu odczuwania wibracji pomiędzy silnikami 11, 12 i 13 jest stosunkowo niewielka.

¹⁷ Pełna skala częstotliwości: 160, 320, 480, 680, 880, 1080, 1520, 1760, 2000, 2320, 3040, 3360, 3800 Hz.

5.3.2 Mikrofon

Kolejnym zadaniem realizowanym w trakcie trzeciej fazy testów było badanie funkcjonalności działania opcji mikrofonu, tj. możliwości obierania dowolnych dźwięków otoczenia przez mikrofon wbudowany w urządzenie mobilne i ich transmisja do formy wibracji.

Testy funkcji mikrofonu opierały się na szeregu ćwiczeń z wykorzystaniem muzyki odtwarzanej z głośników:

- 1) fragment utworu muzycznego grany na pianinie elektronicznym przez prowadzącego testy,
- 2) fragment muzyczny w różnych rejestrach (od najniższego do najwyższego) grany na pianinie elektronicznym,
- 3) fragment nagrania muzyki klasycznej i rozrywkowej odtwarzany z komputera (z wideo),
- 4) możliwość improwizacji osób testujących na pianinie elektronicznym,
- 5) w przypadku części osób testujących, w naturalny sposób zaczynały one testowanie własnego głosu lub odgłosów wydanych przez aparat mowy.

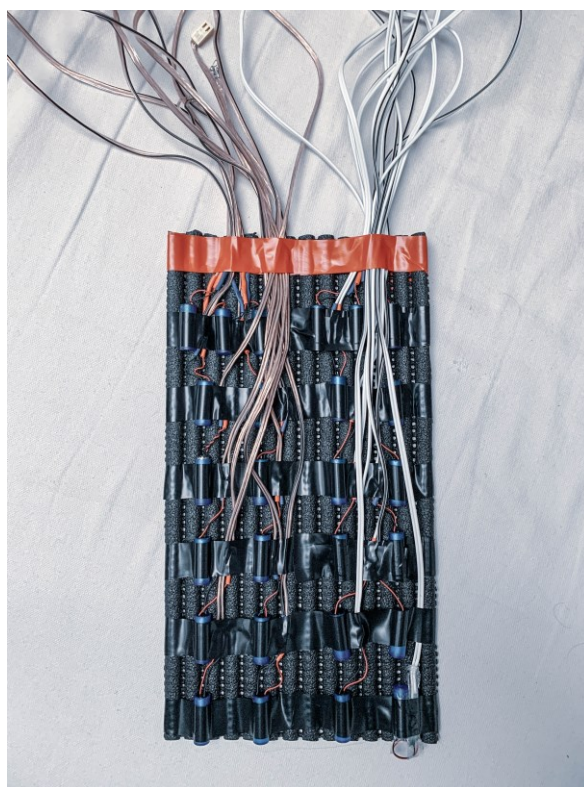
W trakcie testów użytkownicy napotkali na kilka błędów/problemów z działaniem urządzenia:

- kilkakrotnie komunikacja pomiędzy aplikacją a kamizelką zawieszała się, co skutkowało podtrzymywaniem działania silników, pomimo wyłączenia funkcji mikrofonu. Błąd ten został zlokalizowany w kodzie aplikacji i poprawiony po zakończeniu testów.
- algorytm analizujący i odczytujący częstotliwość zjawisk dźwiękowych, nie działał w prawidłowy sposób w wybranych rejestrach w sytuacji testowania sygnału dźwiękowego pianina elektronicznego. Błąd ten został zlokalizowany w kodzie aplikacji i poprawiony po zakończeniu testów.

- prawdopodobnie najistotniejszym problemem dla osób testujących okazał się dźwięk generowany przez silniki wibrujące, które w momencie działania rezonowały uderzając o plastikowy element, do którego były przymocowane. W trzeciej fazie testów wszystkie ćwiczenia zostały przeprowadzone z włączonym aparatem słuchowym/implantem (o ile osoby testujące z niego korzystają). W sytuacji ćwiczeń z np. fragmentami muzycznymi odtwarzanymi z komputera, źródło dźwięku znajdowało się dalej niż dobiegający do aparatu testujących dźwięk działania silników, co wpływało negatywnie na ich percepcję. Osoby testujące wskazywały na bałagan, chaos, w sytuacji, gdy niemal na równi słyszały dźwięk instrumentu (pianino elektroniczne) i dźwięk silników wibrujących. Z tego względu, po zakończeniu trzeciej fazy testów, silniki zostały ponownie przymocowane do materiału miękkiego (gąbko-podobnego), który pochłania wibracje a nie rezonuje. Ze względu na fakt, że wykorzystane silniki potrafią generować wibracje o dużej mocy, nieznaczne pochłonięcie siły wibracji, nie stanowi problemu. Co ciekawe, w poprzedniej fazie testów — z udziałem instrumentalistów, muzyki na żywo — żadna z osób testujących nie wskazywała problemu z głośnym działaniem silników kamizelki. Opisany powyżej problem skutkował również obniżeniem precyzji działania kamizelki, gdyż determinował zaistnienie dźwiękowej pętli, tj. sytuacji, gdy mikrofon urządzenia przenośnego rejestruje nie tylko dźwięk instrumentu/muzyki, lecz również dźwięk działania kamizelki (silników wibrujących), przez co w momencie “muzycznej” ciszy, kamizelka wciąż generowała wibracje. Problem ten został rozwiązany przez ponowne przymocowanie silników do miękkiego materiału gąbko-podobnego, który nie rezonuje a pochłania wibracje (Zdjęcie 8).
- Podczas testów osoby wskazywały na brak wibracji, w sytuacji np. cichej muzyki. Wynikało to z przyjęcia ośmiostopniowej skali dynamiki (wartości 0 do 7). W ten sposób algorytm analizował amplitudę sygnału, skalował i kwantyzował ją do najbliższej możliwej wartości z grupy od 0 do 7. W wyniku tego, najniższa wartość (0) obejmowała nie tylko muzyczną ciszę, ale też ciche dźwięki. Osoby testujące zaznaczały, że słyszą muzykę a nie czują wibracji. Problem został rozwiązany przez wprowadzenie 256 stopniowej skali pomiaru amplitudy dźwięku, która zapewnia o wiele większe zróżnicowanie dynamiczne > mocy działania silników.

- O ile wskazane powyżej problemy z działaniem urządzenia były stosunkowo proste w naprawie i wprowadzeniu udoskonaleń, o tyle jednym z podstawowych problemów — pojawiającym się już w sytuacji kontaktu z muzyką na żywo w drugiej fazie testów — jest brak precyzji działania algorytmu w odczytywaniu częstotliwości dźwięku.

W obecnej sytuacji, algorytm aplikacji działa w ten sposób, że wybiera częstotliwość o największej amplitudzie (poziomie głośności), skaluje i przypisuje do poszczególnych silników. Niestety jednak ze względu na złożoność samego dźwięku akustycznego (budowa alikwotowa), nie mówiąc o złożoności dźwięku w momencie nagromadzenia różnych jego źródeł, ze względu na ograniczenia czasowe i finansowe, problem precyzji analizy częstotliwości dźwięku nie został w pełni rozwiązany. Jak zostało wspomniane w opisie drugiej fazy testów, brak spójności wysoko/nisko w dźwięku i kamizelce nie był jednak podstawowym problemem dla osób niesłyszących. Przede wszystkim dotyczyło to precyzji działania w obrębie rytmu, dynamiki i czasowego wymiaru muzyki.



Zdjęcie 8 Montaż silników na powierzchni plastikowej (L) i gąbko-podobnej (P). Autor zdjęć: Piotr Peszat.

5.3.3 Otwórz plik

Ostatnim zadaniem realizowanym w trakcie trzeciej fazy testów, było badanie funkcjonalności działania odtwarzania przykładów muzycznych przekonwertowanych do formy wibracji w postaci ciągu wartości opisujących:

- 1) częstotliwość dźwięku — w trzynastostopniowej skali (od 0 do 12),
- 2) amplitudę dźwięku — poziom głośności w ośmiostopniowej skali (od 0 do 7).

Osoby testujące wybierały przykłady spośród dziesięciu uprzednio przygotowanych plików, wgranych do pamięci urządzenia mobilnego: siedem z dziesięciu przygotowanych plików to kilkuminutowe fragmenty kompozycji Piotra Peszaty, natomiast pozostałe trzy pliki zostały przygotowane w formie ułatwiającej zrozumienie działania urządzenia¹⁸.

Jednym z podstawowych mankamentów wskazywanych przez osoby testujące był skokowy/ "nie-muzyczny" charakter pojawiających się wibracji, wskazywany już w pierwszej fazie testów przy okazji ćwiczeń opisanych w rozdziale 5.1.1 i 5.1.2. Ze względu na ograniczenia czasowe i finansowe, nie było możliwe zaimplementowanie w aplikacji mobilnej funkcji wyboru plików dźwiękowych i ich konwersji do formy wibracji w czasie rzeczywistym z możliwością równoczesnego odsłuchania. Z pewnością jest to element, który warto rozwinąć w ew. dalszych pracach nad urządzeniem¹⁹.

¹⁸ Np. plik nr 8 uruchamia kolejne silniki (od 1 do 13) o stały poziomie głośności; plik nr 9 uruchamia grupę silników 5-6-7-8 z równoczesnymi zmianami poziomu głośności (cicho-głośno-cicho); plik nr 10 uruchamia wybrane silniki w powtarzającym się schemacie o stałym poziomie głośności.

¹⁹ Tj. możliwość wyboru dowolnego pliku w formacie .mp3 przez użytkownika zapisanego w pamięci telefonu a następnie jego analiza częstotliwościowo-dynamiczna i możliwość równoczesnego odsłuchania z odczuwaniem wibracji. Jest to rozwiązanie dające o wiele większe możliwości użytkownikowi, szczególnie w zakresie wyboru przykładów muzycznych według własnych preferencji estetycznych.

5.3.5 Podsumowanie trzeciej fazy testów

Trzecia faza testów ujawniła szereg problemów działania urządzenia, jednak równocześnie przyniosła szereg bardzo pozytywnych opinii dotyczących jego działania. Podstawowe problemy zostały opisane w części 5.3.2 Mikrofon i w większości zostały dopracowane po zakończeniu spotkań z osobami g/Głuchymi. Jak wspomniano, problem analizy częstotliwości dźwięku, nie został w pełni rozwiązany, co przekreśla pierwotne założenie substytucji zmysłów — pełnej zamiany dźwięku na wibracje. Niemniej, należy zaznaczyć, że w obecnej formie, urządzenie z pewnością może funkcjonować jako element wspomagający odbiór muzyki przez osoby niesłyszące lub słabosłyszące. W sytuacji osób niesłyszących, nie korzystających z aparatu, w naturalny sposób brak słuchowego punktu odniesienia, skutkował brakiem uwag o precyzji działania.

W trakcie trzeciej fazy testów, kilka osób eksplorowało możliwości zamiany głosu na wibracje, trudno jednak mówić o możliwości translacji semantyki języka na konkretne wibracje w przypadku ćwiczeń przeprowadzonych w tak krótkim okresie.

Podsumowując, trzecia faza testów okazała się cyklem bardzo inspirujących spotkań, w trakcie których osoby testujące zadawały wiele pytań i miały mnóstwo pomysłów na rozwinięcie projektu. Kilkakrotnie pojawiało się pytanie ze strony osób testujących, kiedy kamizelka będzie gotowa/dostępna. Ponadto, należy zwrócić uwagę na ciekawość osób g/Głuchych w kwestii mechanizmów działania muzyki — np. szereg pytań dotyczących barwy dźwięku (np. jeśli na różnych instrumentach można zagrać tę samą wysokość, to czy brzmi ona tak samo?). Mechanizmy działania muzyki, np. różnica barwy/koloru dźwięku, jak również obwiednia dźwięku, charakterystyczna dla poszczególnych instrumentów, były tłumaczone uczestnikom za pomocą metafor kolorów i symboli graficznych o określonym kształcie. Ponadto, w trakcie trzeciej fazy testów, część osób testujących wyraziło chęć zorganizowania dodatkowych spotkań, w ramach których omówione zostaną podstawowe parametry dźwięku i muzyki, co pomimo trudności w znalezieniu odpowiednich metafor, niezwykle cieszy i daje nadzieje na utrzymanie kontaktu z grupą testującą.



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Zdjęcie 9 Dokumentacja fotograficzna trzeciej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Zdjęcie 10 Dokumentacja fotograficzna trzeciej fazy testów. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.

6. Podsumowanie

Praca nad innowacją pn. Wibraap przebiegała równocześnie z kolejnymi falami pandemii wirusa *Covid-19*. Biorąc pod uwagę szczególnie istotne miejsce w opisywanym projekcie jakie zajmuje zmysł dotyku, jego realizacja w warunkach maksymalnego ograniczenia kontaktu z drugą osobą była niezwykle utrudniona i wymagała od prowadzących i uczestników zachowania maksymalnych środków ostrożności. Fazy testów urządzenia i aplikacji zostały przesunięte względem założonego harmonogramu o dwa miesiące ze względu na problemy z zebraniem grupy osób testujących²⁰. Ostatecznie jednak, pomimo przesunięć względem założonego harmonogramu, przeprowadzono zaplanowane fazy testów z pełną grupą ośmiu osób g/Głuchych.

Podstawowym wnioskiem, który nasuwa się po trzech fazach testów jest fakt, iż urządzenie Wibraap nie spełnia zadania substytucji zmysłów — tj. pełnej zamiany zmysłu słuchu na zmysł dotyku (mowa oczywiście o uczestnikach korzystających z implantów/aparatów słuchowych, tj. osób mających dźwiękowy punkt odniesienia dla wibracji; w przypadku uczestników niesłyszących, Wibraap rzeczywiście jest jedyną z nielicznych alternatyw percepcji muzyki). O ile jednak urządzenia nie umożliwia pełnej substytucji zmysłów, o tyle zdecydowanie z powodzeniem może funkcjonować jako narzędzie wspomagające odczuwanie muzyki, co potwierdzają wypowiedzi wszystkich osób testujących²¹.

Z przeprowadzonych konsultacji, wynika, że owszem na rynku są dostępne kamizelki oparte na mechanizmie przekształcania dźwięku w wibracje (np. wspomniane

²⁰ Np. ze względu na obowiązujące restrykcje, część osób g/Głuchych nie mogła opuszczać internatów i szkół.

²¹ Wszystkie osoby testujące, które korzystały z aparatów/implantów, wskazywały, że chciałyby korzystać z kamizelki w trakcie koncertu, jako narzędzia wspomagającego słuchowego odczuwanie muzyki. Ponownie, w sytuacji osób niesłyszących, nie korzystających z aparatów, jest to jedna z niewielu alternatyw dla odczuwania muzyki.

Sound Touch Set — plecaki wibrujące, wykorzystane m.in. podczas Pol'and'Rock Festival). Niemniej, realnie, ich dostępność jest bardzo ograniczona. Wynika z tego, że urządzenie Wibraap ma szansę wypełnić lukę, zapewniając osobom g/Głuchym dostępność do wydarzeń muzycznych a przede wszystkim dając możliwość indywidualnego obcowania z dźwiękiem w formie wibracji w warunkach domowych. W kontekście istniejących rozwiązań, aspekt indywidualnego podejmowania decyzji o wyborze jednego z trzech trybów działania — słuchanie zaimportowanych plików dźwiękowych, gra na klawiaturze, czy mikrofon — wydaje mi się największą zaletą Wibraap.



Zdjęcie 11 Gotowy prototyp kamizelki Wibraap. Autor zdjęcia: Piotr Peszat.

Piotr Peszat

Kraków, 20.07.2021