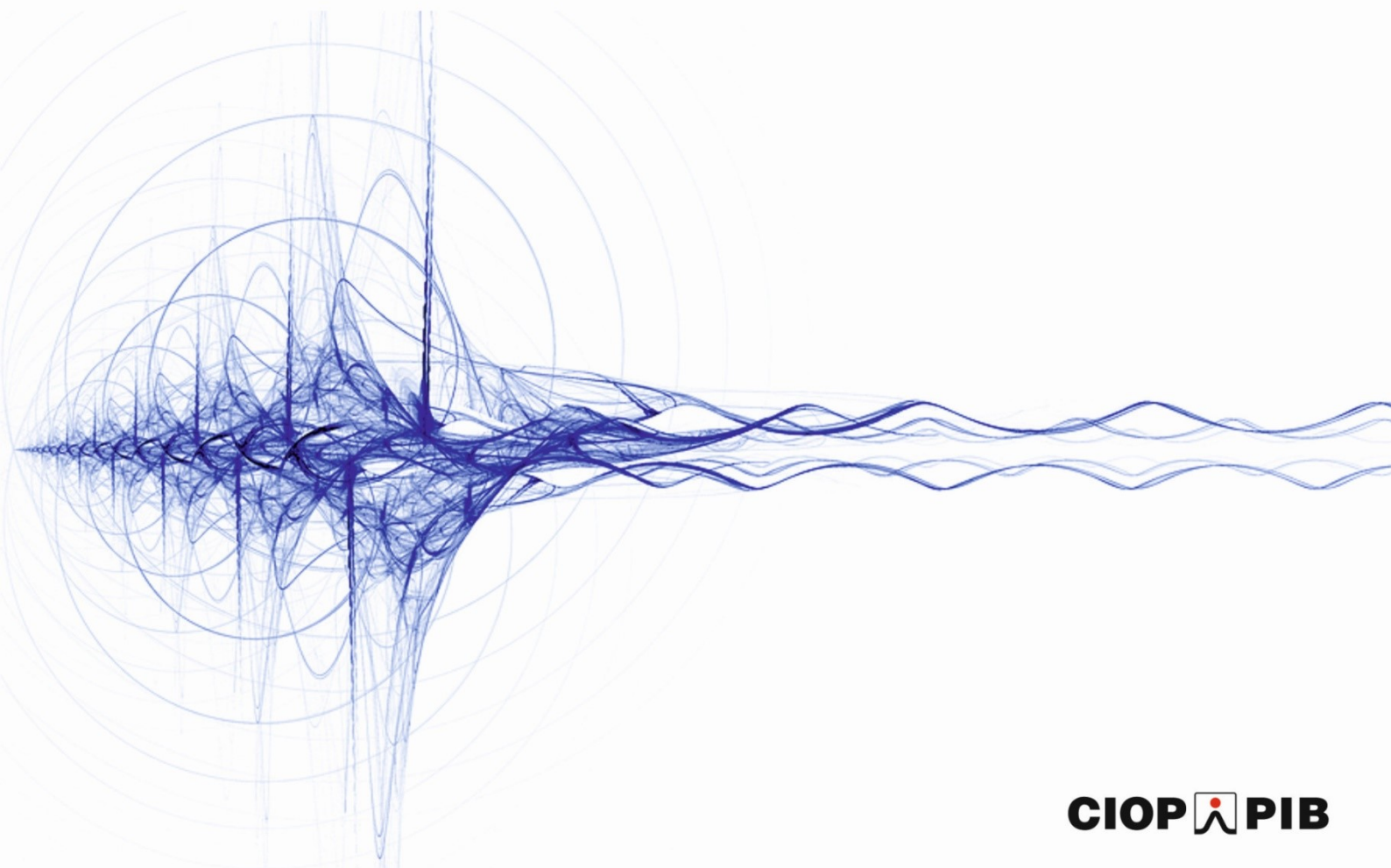


Leszek Morzyński  
Marlena Podleśna  
Anna Włodarczyk

# ULTRADŹWIĘKOWA TECHNIKA HAPTYCZNA

*Zalecenia dotyczące możliwości stosowania  
ultradźwiękowych przetworników haptycznych  
i unikania związanych z nimi zagrożeń akustycznych*



Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt II.PB.13 *Rozwój i badania właściwości ultradźwiękowej technologii haptycznej ze szczególnym uwzględnieniem możliwości jej zastosowania na potrzeby osób z niepełnosprawnościami*

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy:

dr inż. Leszek Morzyński, Marlena Podleśna, Anna Włodarczyk – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych

Zdjęcie na okładce: yurok/Bigstockphoto

©Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2022

**CIOP**  **PIB**

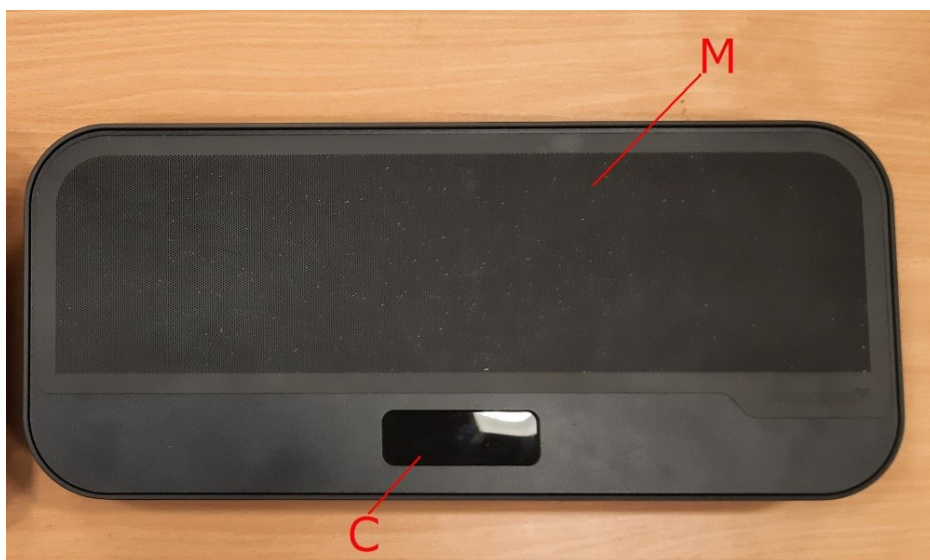
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

tel. (48-22) 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

## Wprowadzenie

Ultradźwiękowa technika haptyczna to nowo powstała technika umożliwiająca generowanie w powietrzu, przy wykorzystaniu skupionych ultradźwięków niewidocznych, wirtualnych obiektów, które mogą być wyczuwalne zmysłem dotyku (obiektów dotykowych). Uczucie dotyku jest powodowane przez oddziaływanie na powierzchnię skóry skupionej wiązki ultradźwiękowej o wysokim poziomie ciśnienia akustycznego (140 – 140 dB). Ultradźwiękowy przetwornik haptyczny, za pomocą którego tworzy się obiekty dotykowe, jest matrycą wielu (kilkudziesięciu) miniaturowych przetworników ultradźwiękowych, o podstawowej częstotliwości pracy 40 kHz. Sterowanie fazą i amplitudą sygnałów emitowanych przez poszczególne przetworniki ultradźwiękowe umożliwia skupienie ultradźwięków w wybranych punktach przestrzeni i odwzorowanie za ich pomocą wybranego obiektu (kształtu, bryły). Obiekty płaskie, dwuwymiarowe odwzorowywane są jako zbiór punktów skupienia ultradźwięków rozmieszczonych na konturze danego kształtu albo jako pojedynczy, ruchomy punkt kreślący w przestrzeni kontur tego kształtu. Obiekty trójwymiarowe, przestrzenne odwzorowywane są na powierzchni dłoni jako przekroje płaskie danej bryły w miejscu jej przecięcia z dłonią. Wymaga to oczywiście zastosowania dodatkowego czujnika położenia dłoni użytkownika w przestrzeni nad przetwornikiem. Widok ultradźwiękowego przetwornika haptycznego do zastosowań komercyjnych przedstawiono na rys. 1. Więcej informacji na temat ultradźwiękowej techniki haptycznej, zasad jej działania oraz właściwości można znaleźć w opublikowanych na stronach portalu internetowego CIOP-PIB materiałach informacyjnych [1] oraz w artykule [2].



Rys. 1. Ultradźwiękowy przetwornik haptyczny (M - matryca przetworników ultradźwiękowych przykryta siatką maskującą, C - czujnik położenia dłoni)

Badania przeprowadzone w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym miały na celu ocenę możliwości zastosowania ultradźwiękowej techniki haptycznej w środowisku pracy, w szczególności na potrzeby osób z niepełnosprawnościami, a także ocenę potencjalnych zagrożeń hałasem ultradźwiękowym powodowanych przez tą technikę. Wyniki przeprowadzonych badań stały się podstawą do opracowania niniejszych zaleceń.

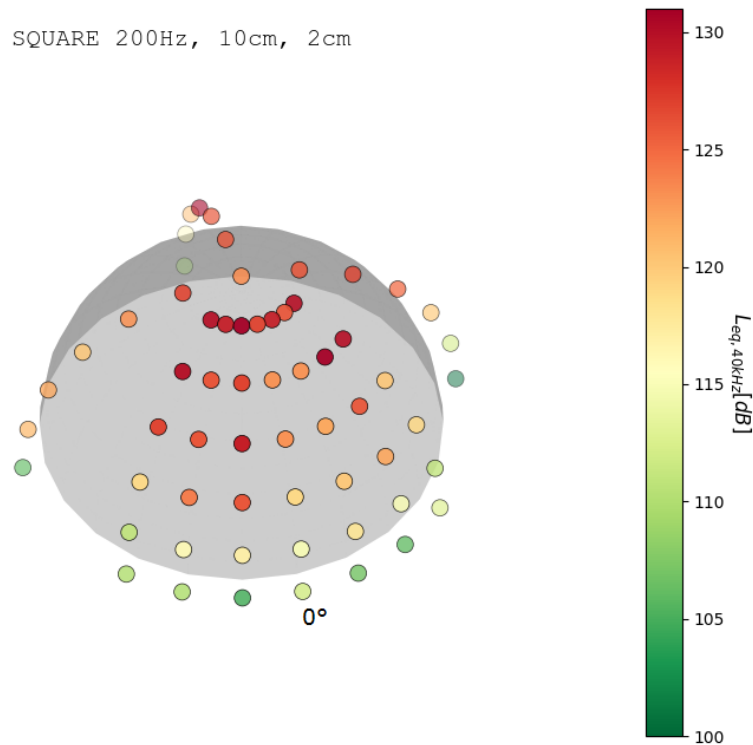
## Zagrożenie hałasem ultradźwiękowym

Podstawą działania ultradźwiękowych przetworników haptycznych jest emisja ultradźwięków o częstotliwości 40 kHz, które w punkcie skupienia osiągają wysokie poziomy ciśnienia akustycznego, rzędu 140 – 150 dB. Dla użytkownika ultradźwiękowego przetwornika haptycznego stwarza to potencjalne ryzyko ekspozycji na hałas ultradźwiękowy. W CIOP-PIB zostały przeprowadzone badania mające na celu ocenę zagrożenia hałasem ultradźwiękowym podczas użytkowania ultradźwiękowych urządzeń haptycznych.

Badania hałasu ultradźwiękowego emitowanego przez przetworniki haptyczne obejmowały pomiary równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego w wybranych punktach półsfery o promieniu 0,5 m, zlokalizowanych w szczególności w kierunku przednim przetwornika (kierunku, w którym powinien znajdować się użytkownik przetwornika). Wyniki pomiarów wykazały, że niemal we wszystkich punktach pomiarowych wartość równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie tercjowym o częstotliwości środkowej 40 kHz przekraczała 110 dB. W kilku punktach pomiarowych, a w szczególności w punkcie bezpośrednio nad generowanym obiektem poziom ciśnienia akustycznego przekraczał 130 dB, a w skrajnych przypadkach dochodził do 137 dB. Przykładowe wyniki badań dotyczących obiektu dotykowego w postaci płaskiego kwadratu o boku o długości 4 cm, znajdującego się na wysokości 10 cm nad przetwornikiem, pokazano na rys. 2.

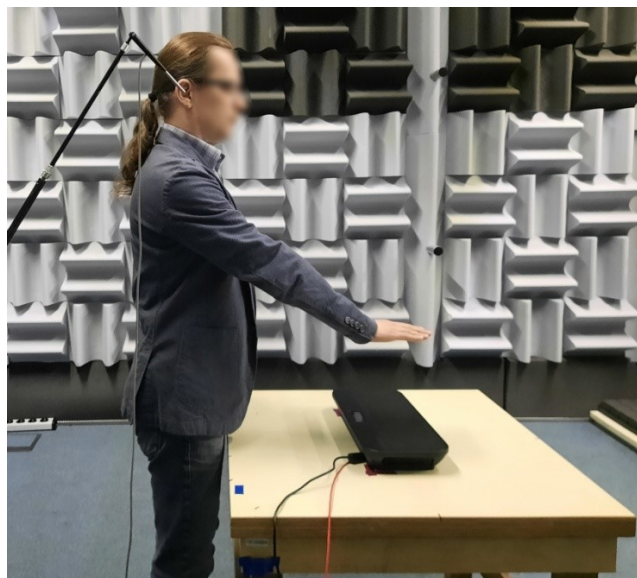
Zgodnie z polskimi przepisami hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy traktowany jest jako czynnik szkodliwy dla zdrowia [3]. Wartość dopuszczalna równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy w przypadku pasma o częstotliwości środkowej 40 kHz wynosi 110 dB a wartość dopuszczalna maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego w odniesieniu do pasma o częstotliwości środkowej 40 kHz wynosi 130 dB. Oznacza to, że zbytne zbliżanie do przetwornika haptycznego głowy użytkownika, np. w wyniku pochylania się użytkownika nad przetwornikiem, z którego korzysta, będzie powodowało przekroczenia wartości dopuszczalnych hałasu ultradźwiękowego określonych dla maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie tercjowym o częstotliwości środkowej 40 kHz.

Object: SQUARE 200Hz, 10cm, 2cm



Rys. 2. Wyniki badania hałasu ultradźwiękowego emitowanego z przetwornika haptycznego dla obiektu dotykowego w postaci kwadratu na wysokości 10 cm.

Przeprowadzone badania ekspozycji na hałas obejmowały pomiary równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej 40 kHz w pobliżu uszu osób korzystających z przetwornika haptycznego. Badania te wykonywano dla osób korzystających z przetwornika w pozycji stojącej (rys. 3).



Rys. 3. Badania hałasu ultradźwiękowego emitowanego przez ultradźwiękowy przetwornik haptyczny



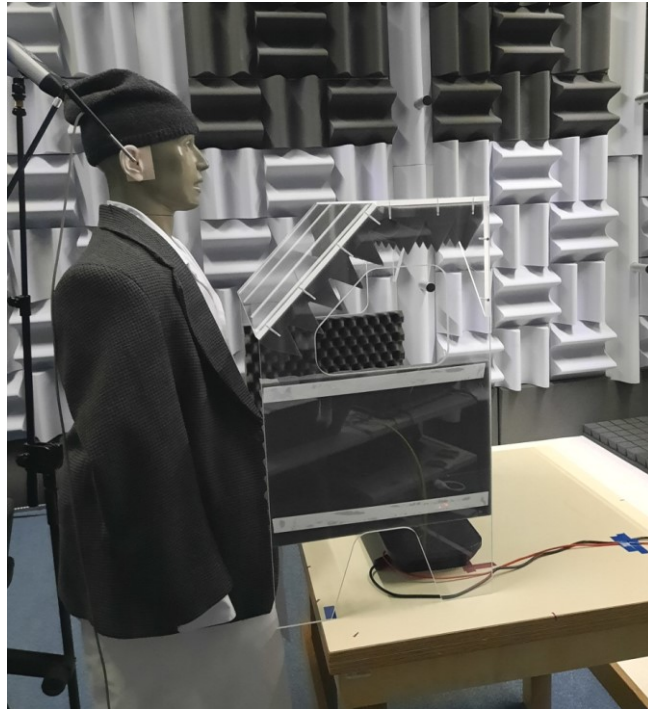
Wyniki przeprowadzonych badań hałasu ultradźwiękowego oddziałującego na użytkownika przetwornika haptycznego wykazały, że notowane przy uchu osoby korzystającej z przetwornika wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie tercjowym o częstotliwości 40 kHz w większości zrealizowanych badań przekraczały 110 dB, zbliżając się w najgorszych przypadkach do wartości 131 dB. Wyniki badań wskazują zatem, że przy powtarzalnym, długotrwałym korzystaniu z przetwornika haptycznego może dochodzić do przekroczeń wartości dopuszczalnych równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie o częstotliwości środkowej 40 kHz. Czynniki, które będą decydowały o możliwości przekroczenia wartości dopuszczalnych, obok czasu ekspozycji, są również: sposób korzystania z przetwornika, parametry generowanych obiektów dotykowych a także wymiary ciała (wzrost) osoby korzystającej z przetwornika haptycznego.

## Zalecenia dotyczące ograniczenia ekspozycji na hałas ultradźwiękowy podczas korzystania z przetworników haptycznych

Wyniki badań hałasu ultradźwiękowego emitowanego przez ultradźwiękowe przetworniki haptyczne pozwalają na wskazanie następujących zaleceń umożliwiających minimalizację ekspozycji użytkownika przetwornika haptycznego na hałas ultradźwiękowy:

- Osoba korzystająca z przetwornika haptycznego powinna zachować możliwie największy dystans od przetwornika. Nie należy zbliżać głowy do przetwornika lub pochylać się nad przetwornikiem.
- Należy ograniczać do minimum czas włączania przetwornika (tzn. czas generowania obiektu dotykowego). Generowanie obiektu dotykowego powinno być uruchamiane tylko w przypadku wykrycia dłoni użytkownika w przestrzeni ponad przetwornikiem.
- Obiekty dotykowe powinny być tworzone (generowane) na znacznych wysokościach nad przetwornikiem. Wyniki badań pokazały, że w przypadku obiektów generowanych na wysokości 30 cm ekspozycja na hałas jest mniejsza, niż w przypadku gdy obiekt znajduje się na wysokości 10 cm nad przetwornikiem.
- W odniesieniu do danego położenie przetwornika haptycznego korzystniejsze może być jego użytkowanie w pozycji siedzącej niż w pozycji stojącej. Największa część energii akustycznej emitowana jest w górę ponad przetwornikiem, w obszarze kąta bryłowego zależnego od generowanego obiektu i jego położenia. Obniżenie położenia głowy względem położenia przetwornika (przy zachowaniu odległości od niego) może ograniczyć ekspozycje na hałas.
- Przy długotrwałym korzystaniu z ultradźwiękowych przetworników haptycznych zaleca się stosowanie ochronników słuchu.

- Ekspozycję na hałas można ograniczyć poprzez zastosowanie osłon częściowych o odpowiedniej konstrukcji redukujących hałas na drodze jego propagacji. Przykład takiej osłony, zapewniającej redukcję hałasu ultradźwiękowego dochodzącą do 15 dB, przedstawiono na rys. 4. Osłona powinna znajdować się blisko torsu osoby korzystającej z przetwornika haptycznego.



Rys. 4. Przykład osłony ograniczającej narażenie na hałas użytkownika ultradźwiękowego przetwornika haptycznego

## Zalecenia dotyczące możliwości zastosowania ultradźwiękowej techniki haptycznej w środowisku pracy i życia, w szczególności na potrzeby osób z niepełnosprawnościami

Naukowcy badający zagadnienia ultradźwiękowej techniki haptycznej oraz twórcy rozwiązań technicznych w postaci ultradźwiękowych przetworników haptycznych prognozują szerokie możliwości wykorzystania tej techniki w wielu obszarach życia i pracy, począwszy od zastosowań w rozrywce, a skończywszy na narzędziach wspierających osoby z niepełnosprawnościami. Oczywiście możliwość wskazanych zastosowań zależy od tego, z jaką dokładnością mogą być tworzone obiekty dotykowe za pomocą ultradźwiękowej techniki haptycznej i jak przekładają się one na wrażenie dotykowe wywoływane u osoby korzystającej z tego urządzenia. Wyniki badań własnych, prowadzonych w CIOP-PIB, wskazują, że obiekty dotykowe wytwarzane za pomocą ultradźwiękowej techniki haptycznej odczuwane są, zarówno przez osoby sprawne jak i osoby

z niepełnosprawnościami, jako mało precyzyjne, rozmyte. Wynika to m.in. z samej zasady tworzenia obiektów za pomocą skupionej wiązki ultradźwięków. Punkt skupienia ultradźwięków o częstotliwości 40 kHz ma wymiar ok. 8 mm. Dodatkowo uczucie dotyku wywoływane przez taki obiekt przypomina w pewnym zakresie uczucie jakie wywołuje ukierunkowany strumień powietrza. Z tego powodu generowane objekty mogą wydawać się nieprecyzyjne, rozmyte, a rozróżnienie niezależnych obiektów położonych w odległości mniejszej niż 2 cm staje się dla większości osób niemożliwe. Na podstawie wyników zrealizowanych w CIOP-PIB badań, w których uczestniczyły osoby sprawne, osoby z niepełnosprawnością narządu wzroku i osoby z niepełnosprawnością kończyn górnych, można podać następujące uwagi i zalecenia dotyczące zastosowań ultradźwiękowej techniki haptycznej:

- Rozpoznawanie złożonych kształtów lub obiektów przestrzennych dla większości osób jest trudne. Z tego względu przekazywanie informacji zawartych w kształcie obiektu powinno się ograniczać do dużych prostych obiektów. Informację może stanowić sama obecność obiektu dotykowego lub zmiana jego parametrów, cech (położenia, wielkości, intensywności).
- Rozpoznawanie obiektów dotykowych zależy od cech osobniczych. Są osoby, które dość dobrze rozpoznają objekty dotykowe, ale są też osoby, które bardzo źle radzą sobie z takim zadaniem. Nie każde zastosowanie techniki haptycznej będzie odpowiednie dla wszystkich użytkowników.
- Użytkowanie techniki haptycznej może przynieść być łatwiejsze po odpowiednim treningu w jej stosowaniu.
- Głównym problemem związanym z wykorzystaniem tej techniki przez osoby z niepełnosprawnością wzroku może być odnajdywanie (lokalizacja) przetwornika haptycznego i generowanego obiektu dotykowego danej przestrzeni. Osoby te muszą również mieć świadomość, że takiego przetwornika należy w danym obszarze poszukiwać. Konieczne jest wypracowanie zasad stosowania ultradźwiękowych przetworników haptycznych w przestrzeni, w której poruszają się osoby niepełnosprawne wzrokowo oraz odpowiednich rozwiązań ułatwiających lokalizację tych przetworników.
- Manipulowanie prostymi obiektami dynamicznymi w postaci przycisków lub suwaków, mogących stanowić elementy sterujące urządzeń lub maszyn nie sprawiało osobom badanym większego problemu. Osoby z niepełnosprawnością wzroku powinny mieć informację zwrotną o aktualnym położeniu (stanie) takiego elementu.



- Proponowane przez badanych zastosowania ultradźwiękowej techniki haptycznej obejmują:
  - proste elementy sterujące maszyn i urządzeń, np. przycisk do windy, sterowanie oświetleniem, temperaturą, włączaniem/wyłączaniem maszyn i urządzeń,
  - interfejsy dla urządzeń dotykowych np. w autach, zapewniające informację zwrotną o wykonanej czynności,
  - interfejsy komputerowe zastępujące np. mysz komputerową lub klawiaturę,
  - tworzenie dla osób z niepełnosprawnością wzroku prostych układów (znaczników) informujących np. o przeznaczeniu danego pomieszczenia, obecności jakiegoś elementu środowiska itd.,
  - wspomaganie procesu projektowania (np. maszyn urządzeń) oraz diagnostyki medycznej z wykorzystaniem środowiska rzeczywistości wirtualnej,
  - tworzenie pomocy edukacyjnych dla osób niewidomych (nauka kształtów, pojęć abstrakcyjnych, orientacji przestrzennej, pisma Braille'a, szkolenia w obszarze związanym ze zjawiskiem kompensacji i wyobrażeń surogatowych),
  - terapeutyczne – rehabilitacja osób z niepełnosprawnością kończyn, ocena czucia, narzędzie do komunikacji z osobami sparaliżowanymi lub ze spektrum autyzmu, terapia osób z obronnością dotykową,
  - tworzenie elementów ostrzegawczych, ograniczających jakieś powierzchnie,
  - reklamy interaktywne wzbogacone o odczucia dotykowe,
  - zastosowania rekreacyjne i rozrywkowe – wzbogacanie rzeczywistości wirtualnej w grach, gry dla osób niewidomych.

## Literatura

---

1. Morzyński L., Podleśna M., Włodarczyk A.: Ultradźwiękowa technika haptyczna. Materiały informacyjne, CIOP-PIB, 2022
2. Morzyński L., Swidziński A., Shmyk A.: Ultradźwiękowa technika haptyczna – działanie, zastosowania, zagrożenia, Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka, 6, 2022, str. 18-22.
3. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. z 2018 r. poz. 1286).