

Leszek Morzyński  
Marlena Podleśna  
Anna Włodarczyk

**ULTRADŹWIĘKOWA  
TECHNIKA  
HAPTYCZNA**  
*Materiały informacyjne*

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej.

Projekt nr II.PB.13,

pt. *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

Fot. na okładce: Leszek Morzyński

© 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 46 50, fax (48-22) 623 36 93, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

## Wprowadzenie

---

Tworzenie i rozwijanie nowych rozwiązań technicznych jest jedną z podstaw postępu społeczno-gospodarczego. Niemniej, jeżeli rozwiązania te nie są odpowiednio sprawdzone przed znalezieniem się w powszechnym użytkowaniu (lub zostaną sprawdzone niewłaściwie), mogą stać się źródłem zagrożeń dla człowieka. Z tego względu, w stosunku do każdego nowego rozwiązania technicznego wprowadzanego na rynek należy przeprowadzić kompleksową ocenę jego właściwości, której elementem powinno być możliwe niekorzystne oddziaływanie na człowieka. Jedną z nowych technik intensywnie rozwijanych w ostatnich latach jest ultradźwiękowa technika haptyczna (od greckiego „haptikos” – dotyk). 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 tę technikę.

## Ultradźwiękowa technika haptyczna

---

Prowadzone w połowie lat 90. XX w. badania wykazały, że skupiona wiązka ultradźwięków jest w stanie pobudzić mechanoreceptory znajdujące się w ludzkiej skórze, powodując tym samym uczucie dotyku. Stało się to podstawą do rozwoju ultradźwiękowej techniki haptycznej, w której za pomocą odpowiednio skupionych ultradźwięków tworzy się w powietrzu, nad przetwornikiem haptycznym, niewidoczne obiekty („obiekty dotykowe”), które są wyczuwalne za pomocą zmysłu dotyku. Uczucie dotyku jest powodowane przez niewielkie deformacje powierzchni skóry, wywołane wysokim ciśnieniem akustycznym skupionej wiązki ultradźwiękowej. Wiązka ultradźwiękowa o stałych parametrach nie wywołuje jednak bezpośrednio uczucia dotyku. Receptory czuciowe skóry reagują na drgania o częstotliwościach w zakresie 0,4 – 500 Hz, zatem do wywołania uczucia dotyku niezbędna jest modulacja wiązki ultradźwiękowej, dzięki której skóra wprawiana jest w drgania o częstotliwości ze wskazanego zakresu.

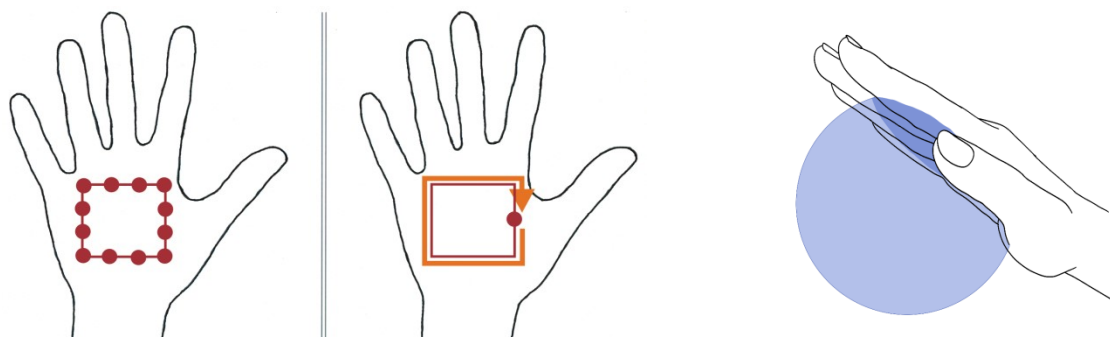
Wytworzenie odpowiednio skupionych ultradźwięków, tworzących w powietrzu wybrany kształt obiektu dotykowego, wymagało opracowania odpowiednich ultradźwiękowych przetworników haptycznych. Ultradźwiękowy przetwornik haptyczny jest matrycą składającą się z kilkudziesięciu miniaturowych przetworników ultradźwiękowych, emitujących ultradźwięki o częstotliwości 40 kHz. Kształtowanie pola akustycznego nad przetwornikiem haptycznym odbywa się poprzez sterowanie fazą i amplitudą sygnałów emitowanych przez przetworniki ultradźwiękowe.

Ze względu na krótki czas rozwoju ultradźwiękowej techniki haptycznej większość znanych dotychczas rozwiązań ultradźwiękowy przetworników haptycznych jest konstrukcjami eksperymentalnymi, tworzonymi w laboratoriach badawczych na potrzeby rozwoju tej techniki. Niemniej, w ostatnich latach pojawiły się już na rynku komercyjnie dostępne przetworniki tego rodzaju. Na rys. 1 przedstawiono widok dwóch z nich. Widoczny po lewej stronie przeznaczony jest głównie do prac rozwojowych i eksperymentalnych, natomiast ten, który widnieje po prawej, jest wersją w pełni użytkową.



Rys. 1. Ultradźwiękowe przetworniki haptyczne

Z uwagi na fakt, że ultradźwięki można skupić tylko w określonych punktach przestrzeni, obiekty dotykowe w tej technice odwzorowywane są albo jako grupa punktów tworzących kontur danego kształtu, albo jako pojedynczy punkt, który z dużą prędkością kreśli dany kształt w powietrzu (rys. 2). Odrębnym zagadnieniem pozostaje tworzenie obiektów trójwymiarowych. Odzworowuje się je w postaci kształtu ich przekroju na wysokości, na której znajduje się dłoń użytkownika (rys. 2). Wymaga to zastosowania modułu śledzącego dłoń użytkownika sprzęgniętego z ultradźwiękowym przetwornikiem haptycznym.



Rys. 2. Sposób tworzenia obiektów dotykowych za pomocą punktów (po lewej) i sposób odwzorowywania obiektów trójwymiarowych (po prawej)

Nowa technika haptyczna ma szereg potencjalnych zastosowań. Pierwszym z nich jest wzbogacanie rzeczywistości wirtualnej. Wytwarzane wrażenia dotykowe mogą stanowić doskonałe uzupełnienie obrazu i dźwięku kreującego dane środowisko, ułatwiając np. manipulowanie obiektami wirtualnymi. W przyszłości takie zastosowania mogą wspierać projektowanie złożonych maszyn czy też diagnostykę medyczną.

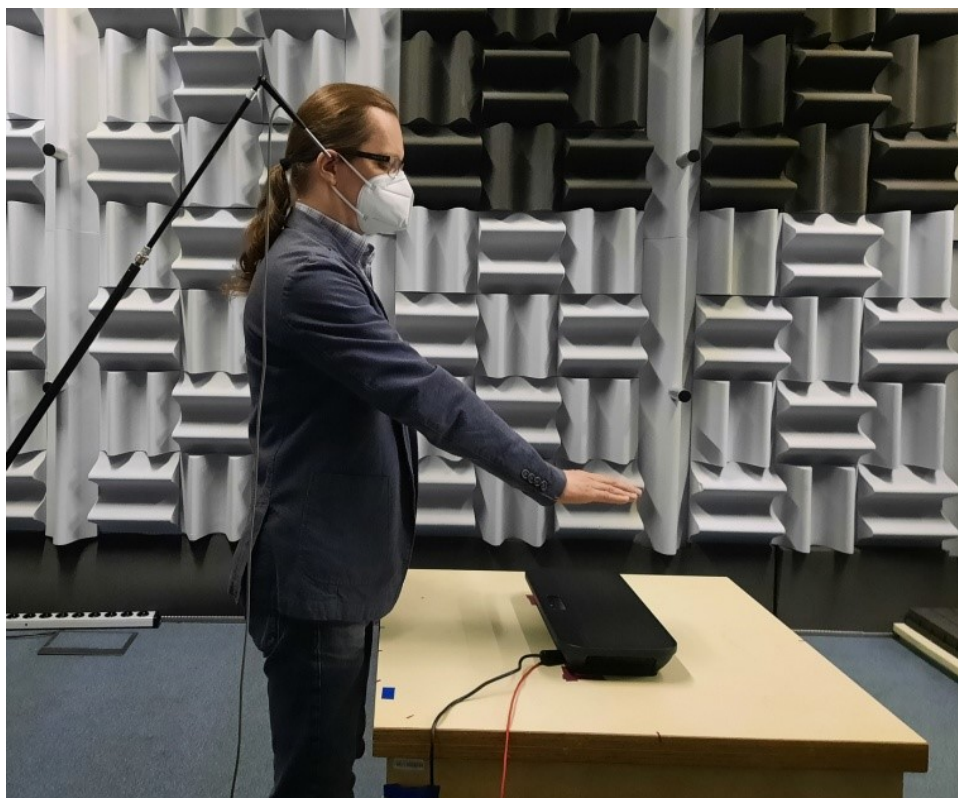
Połączenie ultradźwiękowego urządzenia haptycznego ze śledzeniem ruchów dłoni umożliwia stworzenie swego rodzaju manipulatorów przeznaczonych do sterowania systemami komputerowymi czy też maszynami lub urządzeniami. Manipulator taki nie będzie posiadał części mechanicznych, mogących ulec zużyciu lub uszkodzeniu, może mieć dowolny, zmieniający się kształt w zależności od aktualnie wykonywanej czynności oraz sprzyja zachowaniu higieny (co ma istotne znaczenie w okresie pandemii).

Inny, lecz bardzo ważny obszar potencjalnych zastosowań dotyczy osób z niepełnosprawnościami, a w szczególności z niepełnosprawnością narządu wzroku (niewidomych oraz słabowidzących). Dla nich ultradźwiękowy przetwornik haptyczny może pełnić rolę „dotykowego wyświetlacza”, który odpowiednio sterowany – za pomocą systemu komputerowego – może być źródłem wiedzy o wybranych obiektach czy otoczeniu.

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 jednak, że obiekty dotykowe wytwarzane za pomocą ultradźwiękowej techniki haptycznej odczuwane są jako mało precyzyjne, rozmyte, co może stanowić istotne ograniczenie w jej zastosowaniu.

## Ocena zagrożenia 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, których celem była ocena zagrożenia hałasem ultradźwiękowym podczas użytkowania ultradźwiękowych urządzeń haptycznych (rys. 3). W trakcie tych badań wykonywano, w pobliżu ucha osoby korzystającej z przetwornika, pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej 40 kHz, czyli w paśmie częstotliwości, w którym pracuje przetwornik. Przykładowe wyniki pomiarów wykonanych podczas generowania za pomocą przetwornika haptycznego różnych obiektów dotykowych przedstawiono w tabeli 1.



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

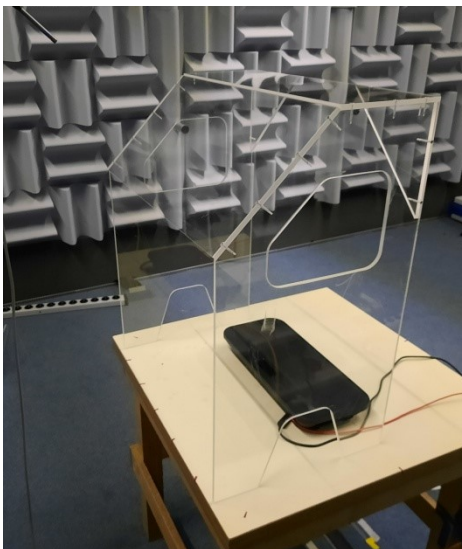
Tabela 1. Przykładowe wyniki badań hałasu ultradźwiękowego dla różnych obiektów dotykowych.

Obiekt dotykowy	Punkt na wys. 10 cm	Kwadrat o noku 4 cm na wys. 20 cm	Koło o średnicy 4 cm na wys. 20 cm	Punkt na wys. 20 cm	Kwadrat o boku 4 cm na wys. 30 cm
Równoważny poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości 40 kHz [dB]	98,3 dB	122,0 dB	114,0 dB	113,7 dB	116,3 dB

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że wartości poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej, wynoszącej 40 kHz w przypadku hałasu ultradźwiękowego docierającego do uszu użytkownika ultradźwiękowego przetwornika haptycznego, mieszczą się w przedziale od ok. 98 dB do ponad 120 dB, przy czym zdecydowana większość wyników pomiarów przekraczała 110 dB.

Zgodnie z polskimi przepisami hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy traktowany jest jako czynnik szkodliwy dla zdrowia. Wartość dopuszczalna równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy w odniesieniu do pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej 40 kHz wynosi 110 dB. Porównanie wartości zmierzonych z wartościami dopuszczalnymi (która, uwaga, dotyczy wartości równoważnych czyli uśrednionych energetycznie do całego dnia pracy) prowadzi do wniosku, że w przypadku codziennego, długotrwałego (kilka godzin dziennie) korzystania z przetwornika haptycznego istnieje ryzyko przekroczenia wartości dopuszczalnych hałasu ultradźwiękowego. Oczywiście obecnie prognozowane

zastosowania obejmują głównie krótkotrwałe korzystanie z przetwornika haptycznego. W celu ograniczenia ekspozycji na hałas ultradźwiękowy pochodzący od przetwornika powinien on być włączany tylko wtedy, gdy w jego przestrzeni roboczej znajduje się ręka użytkownika. Zaleca się także, aby korzystając z przetwornika w miarę możliwości nie zbliżać go do głowy, a w szczególności nie pochylać się bezpośrednio nad nim. Możliwe jest również zastosowanie ekranów lub osłon ograniczających wpływ hałasu ultradźwiękowego na użytkownika, np. w postaci przezroczystych częściowych osłon umieszczonych na drodze pomiędzy przetwornikiem a głową użytkownika (rys. 4)



Rys. 4. Widok przykładowej osłony wykonanej z przezroczystego tworzywa sztucznego, ograniczającej narażenie na hałas użytkownika ultradźwiękowego przetwornika haptycznego.

Więcej informacji na temat właściwości ultradźwiękowych przetworników haptycznych, możliwości ich zastosowań oraz ograniczania zagrożeń związanych z hałasem ultradźwiękowym pochodzącym od tych urządzeń można znaleźć w opracowaniu p.t. „Ultradźwiękowa technika haptyczna. Zalecenia dotyczące możliwości stosowania ultradźwiękowych przetworników haptycznych i ograniczania związanych z nimi zagrożeń akustycznych”, udostępnionym w portalu internetowym CIOP-PIB.