

prof. zw. dr hab. inż. ANDRZEJ CZYŻEWSKI  
mgr inż. JÓZEF KOTUS  
prof. dr hab. inż. BOŻENA KOSTEK  
mgr inż. MACIEJ SZCZODRAK  
Politechnika Gdańska  
Katedra Systemów Multimedialnych

# Multimedialny System Monitorowania Hałasu

## Wstęp

Uregulowania prawne nakazują walkę z hałasem środowiskowym przez opracowywanie wieloletnich strategii w oparciu o mapy hałasu przedstawiające uśredniony rozkład poziomu dźwięku na analizowanym obszarze za okres całego roku [1]. Takie podejście (w skali globalnej) należy uznać za uzasadnione. W praktyce może się ono okazać jednak niewystarczające, głównie dlatego, że nie uwzględnia krótkookresowych zmian w rozkładzie klimatu akustycznego. Ponadto istnieje wiele czynników akustycznych, których strategiczne mapy hałasu nie uwzględniają. Należą do nich: aktywność ludzi w sklepach i w innych obiektach użyteczności publicznej położonych blisko zabudowy mieszkalnej, hałaśliwe kluby, imprezy plenerowe, zmiany w organizacji ruchu itp.

Oporając się na raportach prezentujących wyniki badań odnoszących się do stopnia zagrożenia hałasem, można stwierdzić, że jest ono niezwykle wysokie [2]. W naszym kraju poziom hałasu szczególnie szybko narasta. Na tę niekorzystną sytuację składa się wiele czynników, do których należy zaliczyć: rosnący ruch uliczny, zwiększającą się liczbę samochodów (po wejściu Polski do UE odnotowano zwiększony import samochodów używanych – ponad pół miliona rocznie i liczba ta stale rośnie). Mało autostrad i obwodnic powoduje, że natężenie ruchu pojazdów w miastach dodatkowo wzrasta oraz nasila się ruch tranzytowy samochodów ciężarowych.

Celem projektu realizowanego w Politechnice Gdańskiej we współpracy z warszawskim Instytutem Fizjologii i Patologii Słuchu jest opracowanie powszechnego systemu monitorowania klimatu akustycznego, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu zagrożeń hałasowych na słuch oraz monitorowania różnorodnych zdarzeń akustycznych. Elastyczność i otwarta architektura pozwolą na łatwe integrowanie proponowanych rozwiązań z istniejącymi systemami monitoringowymi. Urządzenia pomiarowe są zaprojektowane w taki sposób, by zapewniały maksymalną funkcjonalność przy niskich kosztach powielania.

W artykule przedstawiono Multimedialny System Monitorowania Hałasu. Projekt jest sieciocentrycznym systemem dedykowanym monitorowaniu zagrożeń hałasem. Jego nadrzędnym celem jest zwiększenie skuteczności w zakresie profilaktyki chorób słuchu. Umożliwia pobieranie, gromadzenie, analizę i wizualizację danych dotyczących hałasu, pobieranych ze zdalnych urządzeń pomiarowych oraz elektronicznych ankiet dostępnych przez Internet. Ponadto w artykule przedstawiono autorską koncepcję psychoakustycznego dozymetru hałasowego. Dozymetr ten umożliwi wyznaczenie czasowego przesunięcia progu słyszenia podczas trwania ekspozycji na hałas. Możliwe jest dzięki temu ciągłe monitorowanie progów słyszenia osób przebywających w warunkach szkodliwego oddziaływania hałasu.

### Multimedia Noise Monitoring System

A concept and an implementation of a multimedia computer system for monitoring environmental noise threats is presented. The principal aim of the project was to improve the effectiveness of prophylaxis of hearing diseases. The system makes it possible to receive, store, analyze and visualize noise data coming from noise measurement equipment and from electronic questionnaires accessible through the Internet. Moreover a new concept of psychoacoustic noise dosimetry is also presented. The designed noise dosimeter can assess temporary threshold shift (TTS) during noise exposure. In this way it is possible to monitor the hearing threshold shift continuously for people exposed to harmful noise.

Docelowo, w trakcie realizacji projektu, możliwe jest opracowanie ulepszonej wersji, znacznie zminiaturyzowanej, stacji pomiarowej, dzięki czemu koszty utrzymania i nadzoru będzie można znacząco obniżyć.

Opracowywane rozwiązania cechuje duża elastyczność zastosowań. Ze względu na niskie koszty i automatyczne, bezobsługowe działanie, możliwe jest instalowanie stacji pomiarowych nie tylko w okolicach ruchliwych ulic, lecz również w sąsiedztwie hałaśliwych klubów, na terenie zakładów pracy, w których pracownicy narażeni są na wysoki poziom hałasu, w szkołach.

W trakcie opracowywania jest system publicznej prezentacji wyników w postaci serwisu internetowego, podającego wyniki w czasie rzeczywistym. W przypadku instalowania stacji do pomiaru hałasu (z funkcją pomiaru uciążliwości) w sąsiedztwie hałaśliwego zakładu pracy, można na bieżąco informować kierownictwo o aktualnym poziomie dźwięku (np. za pomocą SMS). W ten sposób osoby odpowiedzialne będą mogły wpływać na dostosowanie poziomu emisji akustycznej do porę dnia i dopuszczalnego poziomu uciążliwości.

Należy zauważyć, że opracowywany system monitorowania hałasu może doskonale uzupełnić system dynamicznego sterowania ruchem pojazdów. Optymalizacja wykorzystania istniejącej infrastruktury drogowej poprzez

inteligentne sterowanie ruchem pojazdów, prowadzone na podstawie analizy natężenia ruchu i poziomu emisji hałasu, może przyczynić się do znacznej poprawy klimatu akustycznego. Ponadto, istniejące uregulowania prawne nakazują przygotowywanie strategicznych map hałasu z jednej strony, z drugiej zaś podejmowanie inicjatyw zmierzających do poprawy sytuacji w zakresie zwalczania hałasu. Należyta realizacja tych zadań wymaga prowadzenia rzeczywistego dozoru akustycznego. Bez wykorzystania bazy stale działających stacji pomiarowych, rzetelna weryfikacja podjętych działań może być bardzo trudna do przeprowadzenia.

## Charakterystyka systemu

Opracowywany i wdrożony do badań pilotażowych projekt systemu monitorowania klimatu akustycznego i zagrożeń hałasem jest przedsięwzięciem interdyscyplinarnym, wykorzystującym najnowsze osiągnięcia technologiczne. Zawiera szereg elementów funkcjonalnych, do których należą: stacja pomiarowa wyposażona w interfejs pomiarowy współpracujący z mikrofonem pomiarowym, oprogramowanie do analizy hałasu, serwer zapewniający komunikację z urządzeniami pomiarowymi, aplikacje do szybkiego tworzenia map hałasu wykorzystujące moduły



Fot. Bezobsługowa stacja pomiarowa  
Photo. Automatic noise measurement station

nowania satelitarne GPS, który pozwala na powiązanie wyników pomiarów poziomu hałasu z danymi dotyczącymi lokalizacji miejsca, w którym dany pomiar się odbył. Ponadto zastosowanie standardowego komputera stanowi odpowiednią platformę sprzętową, którą można, przy małym nakładzie pracy i kosztów, w prosty sposób rozbudowywać o dodatkowe elementy funkcjonalne. Można, zatem, podłączać czujniki gazu, kamerę wizyjną, czujniki wielkości meteorologicznych (prędkości i kierunku wiatru, temperatury, ciśnienia) [4]. Na fotografii przedstawiono opracowaną w Katedrze Systemów Multimedialnych Politechniki Gdańskiej, prototypową stację monitorowania hałasu.

Dzięki wykorzystaniu nowoczesnych technologii transmisji bezprzewodowej GPRS/UMTS, udostępnianych w formie usług przez operatorów sieci komórkowej (lub też WiMAX udostępnianej w ramach współpracy Gminy Miasta Gdańsk z firmą Intel), możliwe staje się przesłanie wspomnianych danych do centralnego systemu teleinformatycznego, którego zadaniem jest ich gromadzenie oraz odpowiednie przetwarzanie. Możliwe jest również podłączenie stacji pomiarowej do lokalnej sieci komputerowej za pomocą wbudowanej karty sieciowej. W celu zapewnienia właściwej komunikacji pomiędzy stacją pomiarową a bazą danych opracowano specjalny serwer obsługujący komunikację ze stacjami pomiarowymi (demon akwizycji danych). Został on zaimplementowany w języku C++. Opracowany protokół komunikacyjny umożliwia przesyłanie danych pomiarowych, kontrolnych i sterujących.

Przy zastosowaniu proponowanej metodologii pomiarów mapy hałasowe mogą być tworzone niemalże natychmiastowo, a ponadto system zbudowany w oparciu o odpowiednią liczbę stacji pomiarowych pozwala na ich aktualizację z niespotykaną dotychczas częstotliwością. W podobny sposób, czyli zdalnie i bez przerywania pomiarów, można dokonywać wszelkich zmian w konfiguracji urządzenia, tak by odpowiadała ona konkretnym potrzebom użytkownika.

## Tworzenie dynamicznych map hałasu

Typowy proces tworzenia mapy akustycznej hałasu, w wielkim uproszczeniu polega na gromadzeniu informacji o źródłach hałasu (ruch drogowy, kolejowy, lotniczy, aktywność zakładów przemysłowych) i wykonywaniu rzeczywistych pomiarów w stosunkowo niewielkim zagęszczeniu przestrzennym, a następnie na modelowaniu propagacji hałasu w środowisku z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu. W ten sposób powstają mapy statyczne, które obrazują dane w sposób

oderwany od stanu istniejącego w momencie przeglądania mapy, ale umożliwiają szacowanie poziomu hałasu w porach doby (przeważnie jest wykonywana osobna mapa dzienna i nocna). Niekiedy mapa jest wykonywana także w kilku porach roku, w których prowadzono pomiary dające podstawę do opracowania map akustycznych.

Do celów modelowania propagacji hałasu istnieje specjalistyczne oprogramowanie, w większości opracowane przez zagraniczne firmy, które było wykorzystywane przy tworzeniu map akustycznych licznych miast europejskich. Oprogramowanie to jest na ogół bardzo kosztowne, a metodyka tego typu uniemożliwia prowadzenie ciągłego monitoringu i bywa w oczywisty sposób niedokładna w sytuacji, kiedy wyjściowy model obszaru jest płaski, tzn. nie uwzględnia wysokości przeszkód akustycznych, czyli wzniesień, przegród, budynków. Jest także niedokładna w sytuacji, kiedy pojawiają się nieuwzględnione uprzednio elementy zabudowy i nowe źródła hałasu. Tym niemniej akustycy zajmujący się tym tematem są na ogół zwolennikami tego typu metodyki, ponieważ jest ona zgodna z wymaganiami normatywnymi [5].

Zastosowanie narzędzi teleinformatycznych do ciągłego pozyskiwania danych nie musi być jednak sprzeczne z opisanym wyżej podejściem. Dane pozyskiwane na bieżąco mogą stać się bowiem podstawą dynamicznej mapy, również uwzględniającej model terenu i występujących w nim przeszkód akustycznych oraz zjawisk propagacyjnych. W tym przypadku model terenu i znajdujących się w nim obiektów może być uaktualniany jak dotychczas, czyli w dłuższych odstępach czasu, zaś ciągła kontrola emisji hałasu w wybranych punktach może w oczywisty sposób pozytywnie wpłynąć na wiarygodność obserwowanej mapy hałasu.

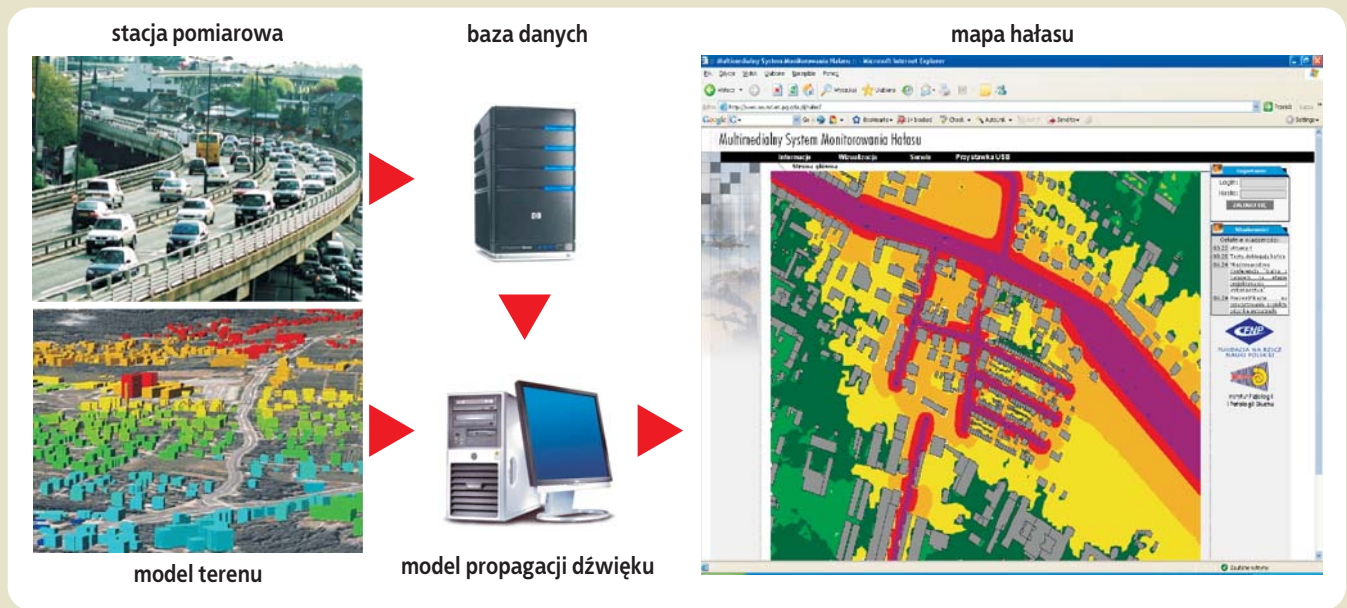
Opracowywany w Katedrze Systemów Multimedialnych Politechniki Gdańskiej moduł automatycznego tworzenia dynamicznych map hałasu działa zarówno na podstawie komercyjnego oprogramowania jak i eksperymentalnych procedur opracowywanych przez naukowców pracujących w Katedrze.

Zadaniem modelu propagacji dźwięku jest obliczanie poziomu hałasu w podanych punktach w terenie na podstawie odpowiednich danych. Zalicza się do nich: źródła hałasu, rzeźbę terenu, rodzaj podłoża, przeszkody (budynki, ekrany akustyczne), punkty w których należy obliczyć wartości poziomu ciśnienia akustycznego. Program „model propagacji dźwięku” pobiera wyżej wymienione informacje niezbędne do obliczenia poziomu dźwięku z bazy danych, przetwarza je i zwraca zarys konturów krzywych o jednakowej wartości poziomu hałasu. W dalszym procesie

obliczeniowe opracowane w ramach projektów europejskich [3], serwis internetowy prezentujący wyniki pomiarów.

Do podstawowych funkcji stacji pomiarowej należą z oczywistych względów te, które są wymagane dla każdego miernika hałasu środowiskowego, aby mógł on uzyskać świadectwo legalizacji Głównego Urzędu Miar. Jednak funkcjonalność proponowanego rozwiązania została tak rozszerzona, by pomiary mogły się odbywać w sposób ciągły i dodatkowo, aby do ich prowadzenia nie był konieczny bezpośredni nadzór nad urządzeniami w terenie. System pomiarowy jest oparty na miniaturowym, wydajnym, jednopłytkowym komputerze przemysłowym. Urządzenie wyposażono w moduł pozycjo-





Rys. 1. Metoda tworzenia mapy hałasu  
 Fig. 1. Method of creating an acoustic noise map

przetwarzania obliczone wartości zostają nałożone na istniejącą mapę terenu jako kolejna warstwa informacyjna. W ten sposób powstaje mapa hałasu. Następnie mapa umieszczana jest w witrynie internetowej. Na rysunku 1. schematycznie przedstawiono mechanizm tworzenia dynamicznej mapy hałasu.

**Obecny stan prac**

Obecnie mierzone parametry hałasu odpowiadają najnowszym wymaganiom UE w zakresie długookresowych pomiarów hałasu. Stacja pomiarowa umożliwia również dokonywanie wstępnej analizy statystycznej wyników. Możliwe jest zatem wyznaczenie histogramów oraz rozkładów skumulowanych.

Stacja pomiarowa umożliwia również wyznaczanie poziomu hałasu w trójowych pasmach częstotliwości. Pełni, zatem, rolę analizatora widma. W ten sposób wyznaczone parametry mogą być wykorzystane do modelowania propagacji dźwięku w przestrzeni otwartej. Mogą efektywnie wspomagać proces tworzenia map hałasu. Należy zaznaczyć, że wymagane charakterystyki korekcyjne (A/C), zrealizowano po stronie cyfrowej, wykorzystując do tego celu filtrację widmową. Takie podejście daje pewność doskonałej stabilności odwzorowywanych charakterystyk. Ponadto uzyskiwane w procesie obliczeniowym współczynniki widmowe są podstawą do wyznaczania dodatkowych parametrów hałasu, uwzględniających psychofizjologiczne aspekty ludzkiego słuchu.

Stacja pomiarowa pozwala również na wykonywanie pomiarów w ruchu, co predestynuje

ją do instalowania na różnego rodzaju pojazdach, autobusach, tramwajach, w wagonach kolejowych. Możliwe wówczas staje się monitorowanie hałasu wzdłuż głównych linii komunikacyjnych, określenie miejsc, w których zagrożenie hałasowe jest największe i w rezultacie takie kierowanie ruchem drogowym, aby poziom hałasu wydatnie obniżyć.

Oprogramowanie stacji pomiarowej zrealizowano w systemie operacyjnym Linux. Umożliwia ono analizę hałasu w czasie rzeczywistym z zastosowaniem autorskich algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnału. Dzięki temu można efektywnie wskazać miejsca zagrożone hałasem, szczególnie uciążliwe dla mieszkańców. Wszelkie dane systemowe oraz wyniki pomiarów są umieszczane na dysku typu Compact Flash. Ponadto, możliwe jest zastosowanie dodatkowych, przenośnych pamięci masowych, podłączanych za pomocą złącza USB. Oprogramowanie to współpracuje z dedykowanym systemem baz danych, powiązanych z systemem informacji przestrzennej (GIS). Mapy hałasu będą tworzone na podstawie rzeczywistych wyników pomiarów i wspomagane modelowaniem propagacji dźwięku w przestrzeni otwartej.

Upowszechnienie informacji o wynikach pomiarów zrealizowano w formie wyspecjalizowanego serwisu internetowego. Został on opracowany z myślą o dalszej rozbudowie. Struktura serwisu (podobnie jak całego systemu) ma charakter modułowy i obejmuje szereg połączonych ze sobą odrębnych elementów funkcjonalnych. Dla wszystkich użytkowników dostępne są:

- serwis informacyjny, zawierający różnorodne informacje o hałasie, jego wpływie na zdrowie człowieka
- rozbudowany moduł prezentacji wyników pomiarów
- moduł ankiet subiektywnych wraz z prezentacją wyników
- dostępne mapy hałasu
- informacje o parametrach hałasu, zmierzonych przez poszczególne stacje pomiarowe.

Moduł prezentacji wyników oddzielono od modułu akwizycji danych oraz od logiki obsługi bazy danych. Dzięki czemu można w prosty sposób rozbudowywać serwis o dodatkowe funkcje. Serwis WWW, odpowiadający za prezentację i przetwarzanie danych pobranych przez serwer, został zrealizowany z wykorzystaniem języka PHP (*PHP Hypertext Preprocessor*).

Na potrzeby systemu opracowano dedykowaną bazę danych. Umożliwia ona łatwe gromadzenie wyników pomiarów i efektywne ich przetwarzanie. Ponadto przechowuje pozostałe dane wykorzystywane w systemie.

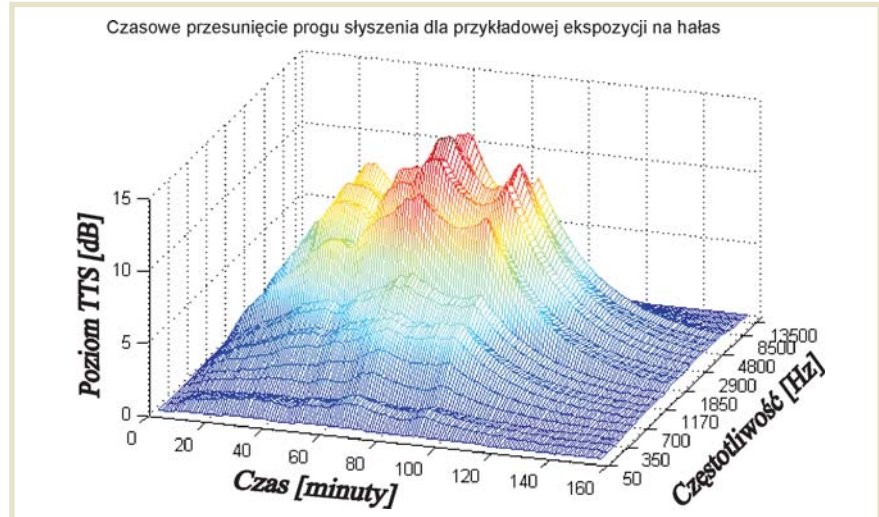
Serwis internetowy stworzony został w ten sposób, aby spełnić podstawowe normy ergonomiczne serwisu WWW. Wiele udogodnień pozwala użytkownikowi na nawigowanie w łatwy sposób po poszczególnych stronach serwisu oraz bezkolizyjne interpretowanie wybranych pól w formularzach. Serwis internetowy i jego poszczególne moduły zostały przygotowane w taki sposób, aby korzystanie z nich przez dowolnego użytkownika było proste i intuicyjne. W miejscach, gdzie jest to potrzebne, znajdują się obszernie opisy akcji związanej

z danym elementem serwisu, a także różnego rodzaju piktogramy, które w sposób wizualny usprawniają nawigację po zawartości serwisu internetowego.

Opracowany serwis WWW wyposażono w mechanizmy umożliwiające szybkie i wygodne prezentowanie wyników pomiarów przeprowadzanych przez automatyczne stacje monitorujące. Ze względu na fakt, że w systemie może jednocześnie pracować bardzo wiele stacji monitorujących, dostęp do wyników pomiarów wybranej stacji jest poprzedzony serią pytań o jej dokładną lokalizację. Użytkownik musi, więc, w pierwszej kolejności określić w którym województwie znajduje się poszukiwany punkt pomiarowy. Dla wybranego województwa prezentowana jest lista miast, w których dokonywane są pomiary. Po wybraniu miasta użytkownik otrzymuje poglądową mapę wybranej miejscowości z zaznaczonymi punktami pomiarowymi. Ostatni wybór dotyczy konkretnego punktu pomiarowego. Można go wybrać przez kliknięcie na kwadracik na mapie lub też wybierając punkt pomiarowy z listy. Dla każdego punktu pomiarowego można sprecyzować przedział czasu, dla którego będą prezentowane poszczególne parametry. Po wybraniu punktu pomiarowego oraz określeniu żądanego przedziału czasu można zobaczyć wyniki w formie zarówno graficznej, jak i tabelarycznej.

Uruchomiono moduł, który na podstawie punktów pomiarowych tworzy orientacyjną mapę hałasu. Jest to pierwsza wersja opracowywanej aplikacji internetowej. W opracowaniu jest nowsza wersja aplikacji do tworzenia wektorowych, dynamicznie zmieniających się map hałasu. Będą one tworzone z wykorzystaniem modelowania propagacji dźwięku w przestrzeni otwartej oraz modeli źródeł hałasu. Źródła te będą weryfikowane za pomocą rzeczywistych pomiarów hałasu dokonywanych w wybranych punktach pomiarowych za pomocą opisanych wyżej stacji monitorujących. Nowa wersja aplikacji ma również obsługiwać prosty system GIS, odpowiednio dostosowany do prezentowania danych w Internecie. W systemie, oprócz wyników pomiarów obiektywnych dostępne są również ankiety, za pomocą których badane są subiektywne odczucia uciążliwości różnych źródeł hałasu. Możliwa jest również wielostronna prezentacja wyników tych badań.

Dodatkowa zaleta opracowywanego systemu, to zastosowanie modelu psychoakustycznego w dozymetrze hałasowym [6]. Unikatową funkcją dozymetru jest szacowanie skutków słuchowych, jakie wywołuje ekspozycja na hałas w czasie rzeczywistym [7]. Dzięki temu możliwe jest poznanie charakteru przesunięcia progu słyszenia dla danego rodzaju hałasu. Dozymetr wyznacza ponadto czas, jaki pozostaje do osiągnięcia dopuszczalnego przesunięcia



Rys. 2. Przykładowy wynik symulacji wpływu hałasu na słuch  
Fig. 2. Sample simulation result of the impact of noise on hearing

progu słyszenia. Bardzo istotne jest to, że określany jest czas niezbędny do przywrócenia początkowego stanu progu słyszenia. Dzięki temu możliwe jest dokładne określenie zagrożenia słuchu na danym stanowisku pracy. Specjalne procedury zawarte w systemie umożliwiają ponadto wyznaczenie częstotliwości, które stanowią największe zagrożenie dla słuchu pracowników. Na rysunku 2. przedstawiono przykładowy wynik analizy symulacji czasowego przesunięcia progu słyszenia wywołanego nadmiernym hałasem.

Opracowany algorytm psychoakustycznego dozymetru hałasowego umożliwia wyznaczenie chwilowej wartości czasowego przesunięcia progu słyszenia podczas trwania ekspozycji. Czasowe osłabienie czułości słuchu jest bezpośrednią konsekwencją narażenia na wysoki poziom hałasu. Prezentowane rozwiązanie umożliwia wyznaczenie przedziałów częstotliwości, dla których słuch jest najbardziej narażony na szkodliwe działanie hałasu. Dodatkowo określany jest czas niezbędny na powrót słuchu do stanu sprzed ekspozycji. By ten proces mógł się dokonać, konieczne jest przebywanie w odpowiednio cichym otoczeniu.

## Podsumowanie

Prototypy opracowanych urządzeń znajdują się obecnie w fazie intensywnych testów. Przygotowane są do wdrożenia w badaniach pilotażowych na obszarze aglomeracji miejskiej na mocy porozumienia w tej sprawie zawartego pomiędzy Politechniką Gdańską i Gminą Miasta Gdańsk. Opracowane rozwiązania zwiększają dostęp do wiarygodnych i aktualnych wyników pomiarów. Społeczeństwo uzyska lepszy dostęp do wiedzy na temat hałasu, zasięgu jego występowania i oddziaływania.

Prezentowane rozwiązania mogą ponadto przyczynić się bezpośrednio do skutecznej walki z chorobami narządu słuchu wywołanymi hałasem. Możliwe jest przewidywanie skutków słuchowych wywołanych długotrwałą ekspozycją na hałas, nawet o poziomach dopuszczalnych.

Opracowane rozwiązania mogą mieć również bezpośrednie zastosowanie w niektórych zawodach (inżynierowie dźwięku, muzycy). Dodatkowo możliwe jest zastosowanie psychoakustycznej dozymetrii hałasowej w klubach młodzieżowych oraz podczas koncertów.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Dyrektywa UE/2002/49 w sprawie zbierania i obróbki danych z zakresu hałasu środowiskowego (Directive 2002/49/EC of The European Parliament and of The Council)
- [2] Z.W. Engel, J. Sadowski *et al.* *Noise protection in Poland in European Legislation*. The Committee on Acoustics of the Polish Academy of Science & CIOP-PIB, Warsaw 2005
- [3] Projekt europejski <http://www.imagine-project.org/>
- [4] A. Czyżewski, J. Kotus, M. Kulesza *Projekt i realizacja automatycznej stacji monitorowania hałasu środowiskowego*. ISSET 2005, 53-60, Kraków, 2005
- [5] PN-ISO 1996-(1,2,3):1999 *Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego – Część 1: Podstawowe wielkości i procedury – Część 2: Zbieranie danych dotyczących sposobu zagospodarowania terenu – Część 3: Wytyczne dotyczące dopuszczalnych poziomów hałasu*
- [6] J. D. Johnston *Transform Coding of Audio Signals Using Perceptual Noise Criteria*. IEEE. "Journal on Selected Areas in Communications", 6(2)1988, 314-323
- [7] A. Czyżewski, J. Kotus, B. Kostek *Determining the noise impact on hearing using psychoacoustical noise dosimeter*. "Archives of Acoustics", 32( 2)2007, 203-217

*Przeprowadzone badania były dofinansowane w ramach grantu R02 010 01 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*