

## MECHANIK 7/2014

## XVIII Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji

Dr inż. Marianna KAZIMIERSKA-GRĘBOSZ  
Dr inż. Joanna KOPANIA  
Zakład Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Politechnika Łódzka

## WYKORZYSTANIE WSPOMAGANIA KOMPUTEROWEGO PODCZAS TWORZENIA MAP AKUSTYCZNYCH

*Streszczenie: W referacie przedstawiono problem hałasu komunikacyjnego i sporządzania map akustycznych. Aglomeracje miejskie są szczególnie zagrożone wzrastającym poziomem hałasu komunikacyjnego. Wykonane zgodnie z zaleceniami UE mapy akustyczne miast są istotnym wskaźnikiem określającym stopień zagrożenia hałasem. Celem referatu jest przedstawienie możliwości wykorzystania specjalistycznego oprogramowania do tworzenia strategicznych map hałasu.*

### THE APPLICATION OF COMPUTER AIDED DURING THE CREATION OF ACOUSTIC MAPS

*Abstract: The paper presents the problem of traffic noise and creation of acoustic maps. The urban agglomerations are particularly affected by increasing level of traffic noise. The acoustic maps of cities, prepared in accordance with EU recommendations, are an important indicator of the level of noise pollution. The aim of this paper is to present the possibility of using of specialized software to create strategic noise maps.*

*Słowa kluczowe: wspomaganie komputerowe, hałas komunikacyjny, mapy akustyczne miast, ochrona środowiska, dyrektywy UE*  
*Keywords: computer aided, traffic noise, acoustic maps, environment protection, EU directives*

### 1. WPROWADZENIE

Hałas jest jednym z najbardziej uciążliwych czynników środowiskowych powodujących straty dla człowieka i środowiska. Oddziaływanie hałasu na człowieka należy rozpatrywać w aspekcie medycznym oraz ekonomicznym. Straty spowodowane hałasem są niewymierne (np. utrata zdrowia, utrata obszarów uzdrowiskowych) oraz wymierne (np. renty, obniżenie wydajności pracy). Koszty społeczne emitowanego hałasu drogowego związane z przedwczesną śmiercią i chorobami oszacowano w całej Unii Europejskiej na kwotę 40 mld €. Dziewięćdziesiąt procent tych kosztów związanych jest z ruchem samochodów osobowych i pojazdów ciężarowych [1].

Na uciążliwość hałasu uskarża się coraz większa liczba Polaków. Wyniki badań CBOS przeprowadzone w 2009 pokazały, że 71% osób odczuwa męczący hałas [2]. Najczęściej skargi dotyczyły hałasu komunikacyjnego.

Ocenia się, że głównym zagrożeniem klimatu akustycznego w Polsce jest właśnie hałas komunikacyjny, szczególnie drogowy, a coraz mniejsze znaczenie ma hałas przemysłowy. Zwiększa się oddziaływanie hałasu związanego z rozwojem komunikacji lotniczej, w większości ograniczonego do obszarów położonych wokół lotnisk. Szacuje się, że w Polsce narażenie na hałas dotyczy ponad 13 mln osób [3].

## 2. PROBLEM HAŁASU KOMUNIKACYJNEGO

Europa, w tym Polska, jest zagrożona wzrastającym poziomem hałasu przede wszystkim komunikacyjnego, wynikającego ze wzmożonej presji motoryzacji. Na hałas komunikacyjny składają się: hałas drogowy, hałas kolejowy i hałas lotniczy. Hałas drogowy to hałas powstający w czasie ruchu samochodów, tramwajów, maszyn pracujących czasowo na otwartej przestrzeni itp. Największym zagrożeniem w kategorii hałasu komunikacyjnego jest właśnie hałas drogowy, związany przede wszystkim z ruchem samochodowym, stanowiący główne zagrożenie na terenach zurbanizowanych. Gwałtowny wzrost liczby samochodów w ostatnim dwudziestoleciu jest jedną z głównych przyczyn wzrostu zagrożenia ponadnormatywnym hałasem drogowym w Polsce. Dotyczy to w równym stopniu samochodów osobowych i ciężarowych.

Zagrożenie hałasem zwiększa słaby rozwój infrastruktury drogowej, słaba jakość nawierzchni oraz powszechny brak obwodnic. Drogi przechodzą przez centra miast oraz osiedli i często są to wąskie drogi nieprzystosowane do przyjęcia takiego ruchu pojazdów. Zwykle część starszych domów była budowana bezpośrednio przy ulicy. Taka sytuacja ma miejsce w Łodzi, gdzie układ dróg w centrum nie został zmieniony od czasu powstania miasta. Wszystkie te czynniki sprawiają, że stosunkowo liczna grupa osób mieszkająca wzdłuż takich przecięzionych arterii komunikacyjnych jest narażona na bardzo znaczny poziom hałasu. Do oceny stopnia zagrożenia hałasem drogowym stosuje się również tzw. wskaźnik presji motoryzacji na środowisko. Jego wartość jest zdefiniowana jako iloczyn długości dróg na danym obszarze i średnioważonego natężenia ruchu w sieci dróg przypadających na jednostkę powierzchni. Najwyższe wartości wskaźnika obserwowane są w województwach południa Polski [2].

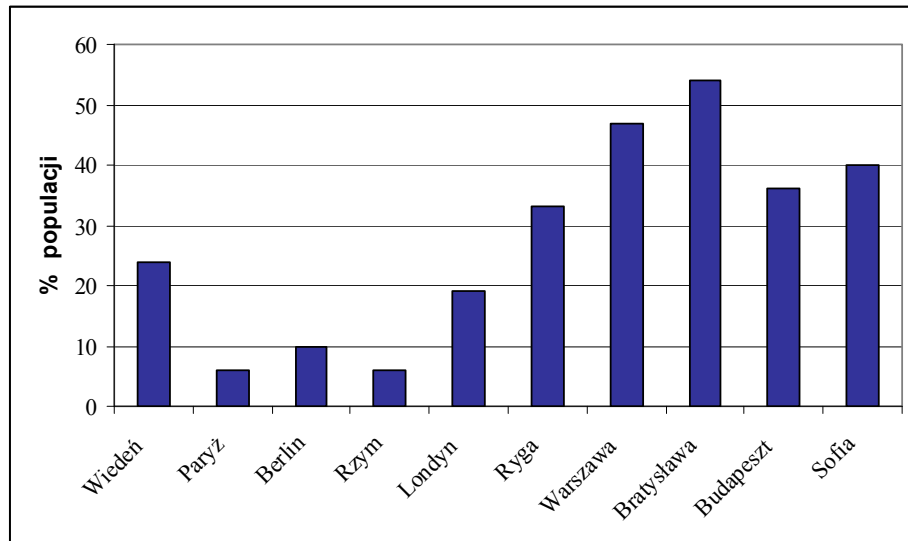
Zmniejszenie hałasu komunikacyjnego można osiągnąć metodami technicznymi i administracyjnymi.

W Polsce ochronę środowiska przed hałasem regulują przepisy ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – *Prawo ochrony środowiska*. Ustawa ma na celu zapewnienie jak najlepszego stanu akustycznego środowiska, w szczególności poprzez utrzymanie poziomu hałasu poniżej dopuszczalnego lub co najmniej na tym poziomie oraz gdy nie jest on utrzymany, zmniejszenia poziomu hałasu co najmniej do dopuszczalnego [4].

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku  $L_{Aeq D}$  (pora dzienna) i  $L_{Aeq N}$  (pora nocna) wynoszące dla strefy śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców, odpowiednio 65dB i 55dB, są przekraczane nawet o 20dB. Według European Environment Agency, w Polsce 45% mieszkańców aglomeracji o wielkości powyżej 250 tys. mieszkańców narażona jest na ponadnormatywny hałas w dzień, a 40% mieszkańców w nocy. Sytuacja jest równie niekorzystna w miastach całej UE. Większe przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu, szczególnie w nocy, występują przede wszystkim w miastach krajów przyjętych do UE w ostatnich latach (rys. 1).

Zasadniczym aktem prawnym wyznaczającym w UE kierunek walki z hałasem jest dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 25 czerwca 2002, odnosząca się do

oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku. Jako że osiągnięcie wysokiego poziomu zdrowia i ochrony środowiska jest częścią polityki wspólnotowej, a ochrona przed hałasem w środowisku jest jednym z jej celów, Parlament Europejski i Rada UE przyjęły tę dyrektywę, która ma zdefiniować wspólne podejście do unikania, zapobiegania lub zmniejszania szkodliwych skutków narażenia na działanie hałasu, w tym jego dokuczliwości, na podstawie ustalonych priorytetów.



Rys. 1. Liczba osób w % narażonych w nocy na hałas drogowy powyżej dopuszczalnego poziomu  $L_N > 55$  dB

Źródło: Europejska Agencja Środowiska, [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu), data dostępu: 1.03.2014

W dyrektywie określono między innymi wskaźniki hałasu i ich stosowanie oraz metody oceny wskaźników. Zobowiązano również państwa członkowskie do sporządzania na swym terytorium strategicznych map hałasu dla miast o liczbie mieszkańców ponad 250 tysięcy i dla wszystkich głównych dróg o obciążeniu ruchem ponad 6 milionów przejazdów rocznie, głównych linii kolejowych o obciążeniu ruchem ponad 60 tysięcy składów pociągów rocznie i głównych lotnisk. Strategiczna mapa hałasu jest dokumentem obrazującym klimat akustyczny danego terenu, opracowany na podstawie pomiarów hałasu drogowego, kolejowego, tramwajowego, lotniczego i przemysłowego. Sporządzona jest w celu całościowej oceny narażenia na hałas i przygotowania ogólnych prognoz dla danego obszaru. Mapy akustyczne są jednym z istotnych wskaźników określających stopień zagrożenia hałasem.

Komisja Europejska zwraca uwagę na najnowsze zalecenia WHO, w których postuluje się obniżenie wskaźników  $L_{DWN} > 55$  dB i  $L_N > 50$  dB do wartości 40 dB, ponieważ w aktualnej ocenie stopnia zagrożenia hałasem ludności UE pomija się fakt, że znaczna część populacji narażona jest na hałas o niższych poziomach, który prawdopodobnie również ma szkodliwe skutki dla zdrowia.

### 3. PROGRAMY KOMPUTEROWE STOSOWANE PRZY TWORZENIU MAP AKUSTYCZNYCH

Zawrotne tempo rozwoju technik komputerowych powoduje, że stają się one fundamentem wielu dziedzin nauki. Programy do modelowania komputerowego są nieodzownym

elementem pracy współczesnego konstruktora, informatyka, inżyniera czy też urzędnika. W wielu dziedzinach nauki wykorzystywane są też bazy informatyczne, m.in. wielowarstwowe bazy GIS, które zawierają informacje przestrzenne, przyrodnicze, obiektowe i infrastrukturalne. Od 2007 roku, od kiedy w Polsce istnieje obowiązek sporządzania map akustycznych dla miast, niezastąpione stało się wykorzystanie programów do sporządzania (modelowania) map akustycznych i tworzenie w ten sposób jednej z GIS-owskich warstw danego obszaru. Stosowane przez wykonawców map akustycznych pakiety oprogramowania działają w oparciu o standaryzowane i unormowane algorytmy obliczeniowe. Często jednak różnią się zarówno modelem obliczeń, jak i możliwościami. Istnieją także różnice w interfejsie użytkownika. Inne są też możliwości poszczególnych pakietów dotyczące współpracy z systemami GIS. Niektóre z nich mają także dodane moduły do obliczeń zanieczyszczeń powietrza czy zarządzania środowiskiem. Inne dodatkowo mają możliwość analizy nasłonecznienia poszczególnych części miasta i wpływu zabudowy na nasłonecznianie. Różne są też możliwości poszczególnych pakietów co do uwzględniania istotnych dla propagacji hałasu zjawisk, jak choćby warunków meteorologicznych. Różnice są też w liczbie elementów (źródeł, odbiorników przeszkód), które program jest w stanie przeanalizować. W programach wydzielone są najczęściej moduły hałasu: drogowego, kolejowego, lotniczego, przemysłowego, a niekiedy również innych obszarów, np. terenów rekreacyjnych. Do najbardziej znanych i rozpowszechnionych obecnie na rynku pakietów oprogramowania, służących do tworzenia cyfrowych map hałasu terenów zurbanizowanych, zaliczyć można programy przedstawione w tabeli 1.

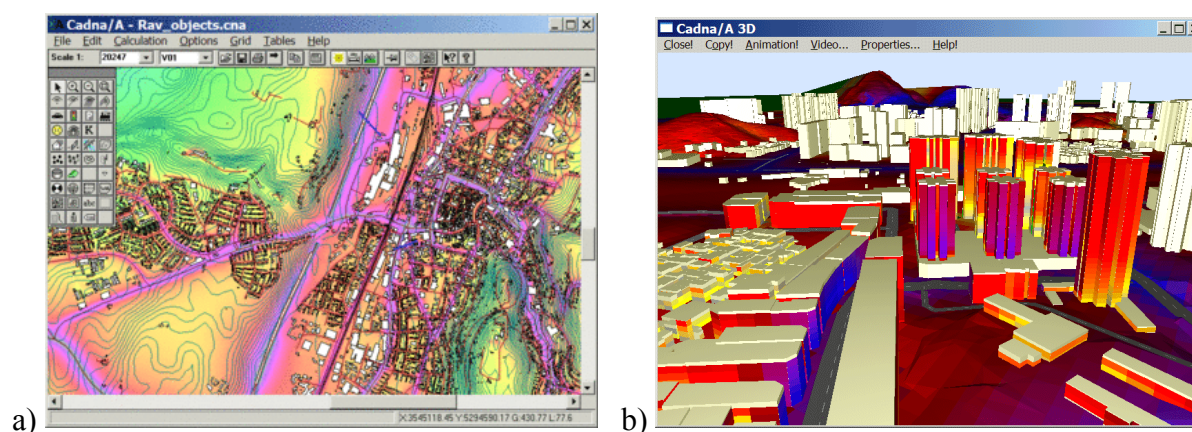
Tabela 1. Najbardziej popularne na rynku polskim programy stosowane do sporządzania map akustycznych

<i>Program</i>	<i>Pochodzenie programu/ dostępność</i>	<i>Rodzaj hałasu</i>	<i>Dodatkowe moduły</i>	<i>Adres strony producenta</i>
<b>CadnaA</b>	niemiecki/na terenie całej UE	przemysłowy, drogowy, kolejowy, lotniczy	APL – mapa zanieczyszczeń powietrza; XL – mapy hałasu dla dużych obszarów; BASTIAN – akustyka budynków; CadnaR – ocena akustyczna wewnątrz	www.datakustik.com
<b>SoundPlan</b>	niemiecki/na terenie całej UE	przemysłowy, drogowy, kolejowy, lotniczy	SoundPlan Air Pollution – mapa zanieczyszczeń powietrza; EnviroPlan – system zarządzania środowiskiem	www.soundplan.eu
<b>IMMI</b>	niemiecki/na terenie całej UE	drogowy, kolejowy, lotniczy, przemysłowy, „rekreacyjny”	IMMI Air Pollution Mapping – mapa zanieczyszczeń powietrza; IMMI Aircraft Noise – mapowanie hałasu lotniczego z uwzględnieniem startów i lądowań	www.woelfel.de
<b>MITHRA</b>	francuski/tylko we Francji	przemysłowy, kolejowy, drogowy, lotniczy	MITHRA REM – mapa promieniowania elektromagnetycznego	http://geomod.fr
<b>Predictor-LimA Software</b>	niemiecko-duński/na terenie całej UE	przemysłowy, kolejowy, drogowy, lotniczy, hałas pochodzący od przepływającej wody, od imprez sportowych i masowych	Pakiety dodatkowe: rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza, nasłonecznienie; LimaArc ArcGIS – moduł do eksportowania danych na warstwy GIS	www.bksv.com
<b>NoiseMap</b>	angielski/tylko w Wielkiej Brytanii	transportowy, kolejowy, hałas pochodzący od kopalni, hałas powstający w czasie budowy, demontażu obiektów budowlanych	NoiseMap Enterprise Edition (EE) – moduł 3D dla dużych obszarów; NoiseMap Server Edition (SE) – przeznaczony do modelowania całych miast	www.noisemap.com
<b>Ramsete</b>	włoski/na terenie całej UE	drogowy, kolejowy, przemysłowy,	Współpraca z programem audio – Aurora	www.ramsete.com
<b>Novapoint Noise</b>	skandynawski/w całej UE	drogowy, kolejowy	Moduł pakietu Novapoint DCM dla gospodarki przestrzennej i infrastrukturalnej	www.vianovasystems.com

Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji przedstawionych na stronach producentów



**CadnaA** to program przyjazny i prosty w obsłudze [5]. Pozwala modelować hałas za pomocą obiektów geometrycznych, czyli za pomocą punktu, linii otwartej i linii zamkniętej. Automatycznie uwzględnia wpływ odbić i ugięć na przeszkodach. Wykorzystuje ortofotomapy i inne struktury GIS do wizualizacji modelu środowiska naturalnego. Pozwala także importować i eksportować dane geograficzne we wszystkich dostępnych formatach, np. z GoogleEarth. Wyniki obliczeń prezentowane są jako kolorowe mapy hałasu lub pokazują rozkład poziomy hałasu np. na fasadach budynków. W programie możliwa jest aktualizacja dynamicznych map hałasu poprzez wykorzystanie danych pomiarowych i narzędzia DYNMAP. Obliczenia hałasu przemysłowego oparte są o międzynarodowe i europejskie normy. Algorytmy obliczenia hałasu drogowego, kolejowego i lotniczego oparte są głównie na normach niemieckich, austriackich, szwajcarskich, francuskich i czeskich.



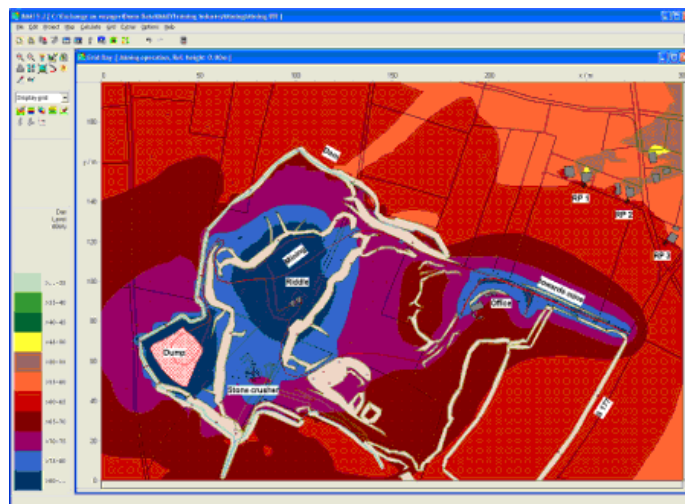
Rys. 2. Prezentacja rezultatów obliczeń przy zastosowaniu programu CadnaA, w formie map 2D (a) i 3D (b)

Źródło: <http://www.datakustik.com>, data dostępu: 3.03.2014

**SoundPLAN** umożliwia modelowanie propagacji hałasu i zanieczyszczeń powietrza, a także posiada program systemowy do zarządzania środowiskiem [6]. Zbudowany jest z niezależnych modułów, co pozwala na zakupienie tylko tych niezbędnych do planowanych analiz. Model do analizy hałasu komunikacyjnego uwzględnia emisję dźwięku dla propagacji hałasu drogowego, kolejowego, przemysłowego i lotniczego. Określone są źródła hałasu powierzchniowe, liniowe i punktowe oraz sposób ich propagacji. Możliwe są obliczenia projektów o różnym rozmiarze. Program w trakcie analiz ocenia rozchodzenie się hałasu, ekranowanie, odbicia, absorpcję terenu i powietrza zgodnie z wieloma międzynarodowymi standardami. Oprogramowanie umożliwia obliczanie ekranów dźwiękochłonnych oraz wymiarowanie okien. Posiada także modele analiz rozchodzenia się dźwięku wewnątrz budynków i hal fabrycznych. Dużą zaletą jest polska wersja tego pakietu. Jest to pakiet nastawiony na samodzielne funkcjonowanie, choć ma możliwości importu i eksportu danych do podstawowych formatów jak DFX, GIS czy bitmapy.

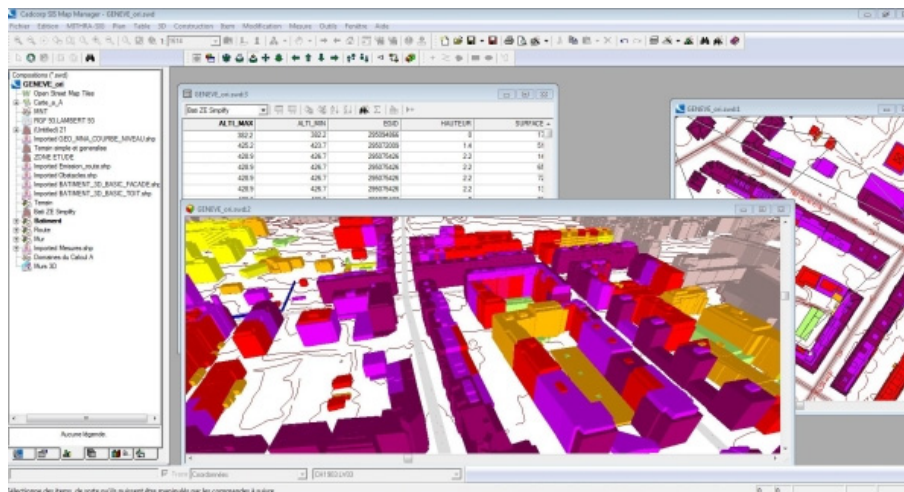
**IMMI** to program prosty w obsłudze [7]. Ma duże możliwości importu i eksportu danych oraz dużą liczbę zaimplementowanych modeli obliczeniowych. Oprogramowanie daje możliwość analizy propagacji hałasu drogowego, kolejowego, tramwajowego oraz – przy zakupie odpowiedniego modułu – również hałasu lotniczego. IMMI posiada także specjalny moduł do obliczeń zanieczyszczeń powietrza. Zapewniona jest pełna współpraca z systemami zarządzania środowiskiem GIS. Jest to program przeznaczony przede wszystkim do obliczeń, umożliwiającą wczytanie danych, dokonanie obliczeń i ich eksport do programów typu GIS, np. ArcView, celem dalszej analizy. Propagacja hałasu obliczana jest zgodnie z wytycznymi

Dyrektywy Europejskiej 2002/49/EC. Wykorzystywane są również znormalizowane standardy poszczególnych krajów europejskich.



Rys. 3. Widok mapy hałasu lotniczego w programie IMMI  
Źródło: <http://www.woelfel.de>, data dostępu: 4.03.2014

**MITHRA** jest programem praktycznym w obsłudze [8]. Jest przeznaczony zwłaszcza dla użytkowników systemów CAD oraz osób, które poszukują narzędzia do dokładnych analiz małych obszarów typu dzielnica. Jako jedyne poza IMMI, oprogramowanie MITHRA szczegółowo uwzględnia poprawki meteorologiczne. Do współpracy z mapami cyfrowymi (systemami GIS) dostępny jest specjalny moduł GeoDGT pozwalający m.in. na digitalizację, import i eksport danych. Program współpracuje w plikami typu DFX.

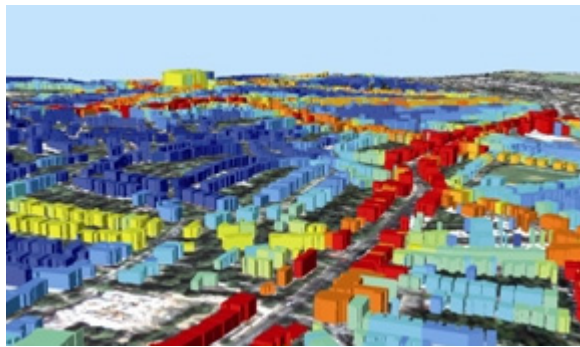


Rys. 4. Rozkład przestrzenny hałasu na wysokości budynków w programie MITHRA  
Źródło: <http://geomod.fr>, data dostępu: 4.03.2014

**Predictor-Lima Software Suite** jest pakietem oprogramowania do projektowania hałasu w środowisku [9]. Powiązано tu oprogramowanie Predictor oraz oprogramowanie Lima. Dzięki temu możliwe jest rozwiązanie każdego projektu akustycznego. Funkcjonalność i elastyczność Predictora i Limy umożliwia szybkie i proste obliczenie hałasu środowiskowego i jego późniejszej analizy. Program jest przeznaczony do pracy głównie w dużych systemach zarządzania środowiskiem, lecz dla dużych obszarów obliczenia są uproszczone. Oprogramowanie cechuje się bardzo dużą szybkością obliczeń. Posiada ciekawą

możliwość analizy warunków nasłonecznienia budynków. Ma budowę modułową, np. do analizy na małą skalę oferuje dokładne modelowanie złożonych struktur geometrycznych. Istnieje także możliwość wykonywania obliczeń tylko w programie Lima lub Predictor. Pliki wyjściowe zintegrowane są z systemami GIS i CAD.

**NoiseMap** jest pakietem szeroko rozpowszechnionym w Wielkiej Brytanii [10]. Składa się z trzech osobnych programów: hałas samochodowy, kolejowy, przemysłowy oraz z dwóch modułów do sporządzania map akustycznych: dla bardzo dużych obszarów i dla całych miast. Model hałasu dostarcza wszystkich danych, takich jak: źródło hałasu, ścieżki transmisji hałasu z uwzględnieniem przegród/ekranów, topografia i rodzaj podłoża oraz lokalizacja odbiornika. Pod uwagę brane są jednak tylko te dane, które mają bezpośredni wpływ na wytwarzanie i rozprzestrzenianie się hałasu, np. ekrany „fragmentaryczne”, które zasłaniają tylko część drogi. Dane mogą być importowane jako pliki CAD, GIS i bmp i w tych formatach również są eksportowane. Dodatkowo dostępna jest możliwość zapisywania plików jako ASCII.



Rys. 5. Trójwymiarowa mapa hałasu w programie NoiseMap

Źródło: <http://www.noisemap.com/products/products.html>, data dostępu: 4.03.2014

**Ramsete** jest pierwszym publicznie dostępnym oprogramowaniem do symulacji akustycznych, głównie do hałasu przemysłowego lub akustyki budynków [11]. Niestety nie znalazł zastosowania do sporządzania map akustycznych dla miast. Zaletą jest to, że program oparto o algorytm Tracing Piramida, który jest w stanie rozwiązywać problemy propagacji dźwięku w dużych pomieszczeniach i na zewnątrz. Uwzględnia odbicia zwierciadlane i rozproszone na powierzchniach absorbujących i ponaddzwiękowych. Ponadto uwzględniana jest dyfrakcja na wolnych krawędziach ekranów drogowych, energia przechodząca przez panele, otwory w dużych powierzchniach, okna lub drzwi wykonane z materiału innego niż otaczająca powierzchnia. Program może również służyć do modelowania poziomu mocy akustycznej źródła dźwięku i jego kierunkowości, zgodnie z normami ISO 3744 i ISO 3746. Program oparto na systemie CAD, jednak dodatkowo wyposażony został w moduł do konwersji plików wyjściowych na format audio.

**Novapoint Noise** jest programem do sporządzania mapy hałasu drogowego i kolejowego, będącym jednym z modułów pakietu Novapoint DCM, który został przygotowany przez inżynierów zajmujących się zagadnieniami infrastrukturalnymi [12]. Jego algorytm oparto na metodach prognozowania hałasu: skandynawskiej (Nordic Prediction Method z 1996) i francuskiej (French XPS31-133). Program jest intuicyjny w obsłudze. Do minimum została zredukowana wymagana wiedza z zakresu akustyki. W zastosowanym modelu uwzględniono odbicia od pionowych powierzchni – ekranów, budynków. Program nadaje się do szybkich obliczeń (przybliżonych i do dużych obszarów). Współpracuje z plikami typu DFX, DWG i SOSI. Wyniki wyświetlane są w formie tabel, map z kolorowymi konturami 2D lub 3D i szczegółowych raportów, które mogą być konwertowane do programu Excel.

W ostatnim czasie na rynku pojawiły się aplikacje mobilne, dzięki którym możliwe jest również wykonywanie map hałasu. Smartfon lub tablet z mikrofonem, wyposażony w system Android, połączony z Internetem z możliwością lokalizacji jego położenia za pomocą GPS, stał się narzędziem do pomiaru hałasu w środowisku [13].

Tego rodzaju mobilne aplikacje stają się obecnie bardzo powszechne i w przyszłości mogą być wykorzystywane nie tylko przez mieszkańców, lecz także na potrzeby standaryzacji parametrów akustycznych w środowisku.

#### 4. PODSUMOWANIE

W celu podjęcia walki z hałasem środowiskowym konieczne jest określenie jego poziomu i odniesienie go do poziomu dopuszczalnego. Temu celowi służą mapy akustyczne. Do sporządzenia map akustycznych mogą być wykorzystywane różne programy komputerowe. Standardowo mapy hałasu sporządzane są w oparciu o dane uzyskane z pomiarów w terenie. Wyniki pomiarów są wprowadzane do programu, a następnie transformowane na izofony przez odpowiedni moduł obliczeniowy i korelowane z danymi geograficznymi badanego obszaru. W efekcie otrzymujemy mapę hałasu w postaci GIS.

W przypadku opracowanych map akustycznych istnieje duża rozbieżność metodologiczna i w konsekwencji pojawiają się opóźnienia w realizacji analizy porównawczej między państwami. Obecnie w krajach Unii Europejskiej dąży się do ujednoczenia metodyki tworzenia map akustycznych. Powinny to być mapy tworzone technikami obliczeniowo-pomiarowymi, zgodnie z ujednoczoną procedurą, metodyką, przy zastosowaniu takich samych modeli obliczeniowych. Pozwoli to na porównywanie skali zagrożenia pomiędzy różnymi krajami i miastami.

#### LITERATURA

- [1] *Obciążenia chorobami z powodu hałasu w środowisku*, raport WHO-IRC, 2011.
- [2] *Badanie Aktualne problemy i wydarzenia*, (231), CBOS, Warszawa, 2009.
- [3] Marczak P.: *Zagrożenie hałasem. Wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Kancelarii Senatu, Warszawa, 2012.
- [4] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – *Prawo ochrony środowiska*.
- [5] <http://www.datakustik.com>.
- [6] <http://www.soundplan.eu>.
- [7] <http://www.woelfel.de>.
- [8] <http://geomod.fr/gmd-societe/gt-accueil/gt-logiciels/gt-log-mithra-suite/>.
- [9] <http://www.bksv.com>.
- [10] <http://www.noisemap.com/products/products.html>.
- [11] [http://www.ramsete.com/Ramsete\\_Ultimo/home.htm](http://www.ramsete.com/Ramsete_Ultimo/home.htm).
- [12] [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7\\_16](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7_16).
- [13] <http://www.winfbase.de>.