

Dr inż. Marianna KAZIMIERSKA-GRĘBOSZ

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.255

Dr inż. Joanna KOPANIA

Politechnika Łódzka

Wydział Organizacji i Zarządzania

WPLYW EKRAŃÓW AKUSTYCZNYCH NA KOMFORT AKUSTYCZNY MIESZKAŃCÓW AGLOMERACJI

Streszczenie: Państwa Unii Europejskiej zobligowane są do sporządzania, przy wykorzystaniu programów komputerowych, map akustycznych aglomeracji miejskich, które są podstawą do opracowania programów ochrony przed hałasem. W programie zapisane są zadania, które samorząd powinien zrealizować w celu poprawy komfortu akustycznego mieszkańców. Jednym z takich działań jest budowa ekranów akustycznych podczas modernizacji lub realizacji nowych dróg. W pracy przedstawiono badania, dotyczące efektywności akustycznej ekranów wzdłuż drogi o znaczeniu krajowym, zbudowanych jako elementy niejednolite. Odniesiono się także do zasadności ich posadowienia oraz skuteczności ochrony przed hałasem w stosunku do użytkowników drogi.

INFLUENCE OF ACOUSTIC SCREENS ON ACOUSTICAL COMFORT OF AGGLOMERATION INHABITANTS

Abstract: The European Union countries are obliged to make acoustic maps of urban agglomerations by using computer programs. They are basis for create document known as program to protect against noise. The program is list of tasks that local government should implement in order to improve the acoustic comfort of inhabitants. One of these activities is the construction of acoustic screens during roads construction. The paper presents a study on the effectiveness of acoustic screens along the national road. They were built as discontinuous elements. The efficacy of acoustical screens relative to users of roads was studied.

Słowa kluczowe: wspomaganie komputerowe, mapa akustyczna, ekrany

Keywords: computer programs, acoustic map, screens

1. WYTYCZNE SPORZĄDZANIA MAP AKUSTYCZNYCH

Zgodnie z Dyrektywą 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 25 czerwca 2002 roku odnoszącą się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, kraje Unii Europejskiej, w tym również Polska, zobligowane są do sporządzania map akustycznych dla miast. Mapy hałasu są istotnym narzędziem w zarządzaniu klimatem akustycznym, umożliwiającym zaproponowanie i zastosowanie rozwiązań technicznych, prawnych i organizacyjnych eliminujących lub minimalizujących występujące uciążliwości. Prace nad stworzeniem mapy akustycznej Łodzi rozpoczęły się w już roku 2003, kiedy po uzyskaniu dofinansowania z funduszy krajowych i europejskich, wykonaniu pomiarów hałasu środowiskowego, wykorzystując oprogramowanie Lima, wykonano „Mapę akustyczną Łodzi

2008”. Stała się ona podstawą do przyjęcia w 2010 roku „Programu ochrony środowiska przed hałasem dla miasta Łodzi”. Zapisy programu, jako kierunki niezbędne do przywrócenia dopuszczalnych poziomów hałasu drogowego w środowisku, zalecały między innymi budowę ekranów akustycznych. Obiekty takie powstają przy okazji realizacji inwestycji drogowych, np. modernizacja ulicy Pabianickiej podczas budowy centrum handlowego Port Łódź w latach 2008-2009. Z uwagi na to, iż zgodnie z wytycznymi Dyrektywy 2002/49/WE mapa akustyczna musi być sporządzana nie rzadziej niż raz na 5 lat, w roku 2012 wykonano kolejną „Mapę akustyczną Łodzi na lata 2012-2017” [1], uwzględniającą zrealizowane zadania, jak posadowienie nowych ekranów akustycznych.

2. ZASTOSOWANIE WSPOMAGANIA KOMPUTEROWEGO

2.1. Podstawowe dane przestrzenne GIS

W mapach akustycznych uwzględnia się hałas generowany przez ruch kołowy, ruch szynowy (koleje, tramwaje), lotniska i miejsca prowadzenia działalności przemysłowej. Na każdy z tych rodzajów hałasu wpływają pewne parametry związane z otoczeniem źródła. Aby je uwzględnić w procesie modelowania hałasu, należy opisać je za pomocą wielu parametrów, które z kolei mogą być zmienne w czasie, jak np.: parametry meteorologiczne, czynniki zależne od parametrów obiektów ruchomych, czynniki związane z parametrami konstrukcyjnymi, czynniki związane z budową infrastruktury oraz architekturą i ukształtowaniem analizowanego terenu. W przypadku realizacji strategicznej mapy Łodzi w 2012 roku, digitalizacja 3D uwzględniała dane geometryczne (określane współrzędnymi geograficznymi, zawierające obiekt liniowy, punktowy, powierzchniowy oraz informację o topologii tych obiektów) i atrybuty obiektów (opisujące różne cechy ilościowe i jakościowe, np. liczbę mieszkańców, liczbę mieszkań w budynku, powierzchnię budynków, liczbę kondygnacji itp.). Za podstawę zapisu i analizy danych przestrzennych przyjęto narzędzia Systemu Informacji Geograficznej (GIS), służące do wprowadzania, gromadzenia, przetwarzania i wizualizacji danych przestrzennych. W tym celu wykorzystano oprogramowanie ArcGIS, w skład którego wchodzi: ArcSDE (serwer danych) i ArcView (analityczne oprogramowanie operacyjne o zróżnicowanym poziomie zaawansowania funkcjonalności). Tak zaimplikowane dane przestrzenne stanowią dopiero podstawę do przeprowadzenia symulacji akustycznych.

2.2. Modele obliczeniowe dla różnych źródeł hałasu

Na świecie stosuje się bardzo różne standardy obliczeniowe wykorzystujące do analizy parametry i wskaźniki oceny hałasu, opisujące zjawiska propagacji fal akustycznych w środowisku w różny sposób [2-7]. Do najbardziej rozpowszechnionych oprogramowań, służących do tworzenia cyfrowych map hałasu terenów aglomeracyjnych, zalicza się między innymi programy: CadnaA, SoundPlan, Lima, IMMI. Programy te wykorzystują europejskie metodyki oceny hałasu komunikacyjnego i przemysłowego. Przy sporządzaniu aktualizacji mapy hałasu dla Łodzi w 2012 roku wykorzystano oprogramowanie CadnaA, z którego pliki obliczeniowe i wyniki obliczeń wyeksportowano do programu Lima [7], będącego w gestii jednostki samorządowej. W obu modułach zaimplementowane są jednak te same metody obliczeniowe [4, 5, 8]:

1) dla hałasu drogowego zastosowano francuską metodę „NMPB-Routes-96” (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB) – jest to metoda uwzględniająca m.in. określenie poziomu mocy akustycznej dla każdego źródła pojazdu oraz poszukiwanie tras propagacji dźwięku pomiędzy każdym ze źródeł a punktem odbioru. Model RLS 90 stosuje metodę źródeł punktowych wraz

z rozchodzeniem, tłumieniem przy gruncie, ekranowaniem i odbiciem [3]. Do oceny hałasu drogowego zastosowano wskaźniki:

L_{DWN} – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w dB, wyznaczony dla wszystkich dób w roku, z uwzględnieniem pory dnia (od 6.00 do 18.00 – L_D), pory wieczoru (od 18.00 do 22.00 – L_W) i pory nocy (od 22.00-6.00– L_N);

L_N – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w dB, wyznaczony dla wszystkich pór nocy w roku (od 22.00 do 6.00) [9];

2) dla hałasu kolejowego i drogowego zastosowano metodę holenderską Reken en Meetvoorschrijft Railverkeerslawaai 1996 [4] – jest to metoda uwzględniająca wartości emisji dźwięku w zależności od kategorii pojazdów wyszczególnionych na podstawie rodzaju napędu oraz układu hamulcowego, kondycję torów (zużycie faliste), poprawki wynikające z pochłaniania dźwięku przez atmosferę, grunt oraz współczynnik odbicia. Metoda RMR 1996 określa także pięć możliwych wysokości pomiarowych w zależności od wysokości źródła dźwięku (napęd taboru, koła, hamulce itp.);

3) dla hałasu przemysłowego – normę PN-EN ISO 9613-2 [8], w której zawarta metoda pozwala na obliczanie zmian poziomu dźwięku w funkcji odległości od źródła. Hałas przemysłowy w aglomeracjach stanowi istotny element map akustycznych, gdyż obrazuje wpływ obiektów przemysłowych na kształtowanie klimatu akustycznego w tym środowisku.

3. SKUTECZNOŚĆ STOSOWANIA KOMUNIKACYJNYCH EKTRANÓW AKUSTYCZNYCH NA WYBRANYCH OBSZARACH MIASTA

3.1. Wnioski wynikające z mapy akustycznej wykonanej w 2008 roku

Mapa akustyczna Łodzi wykonana w 2008 roku, w której wykorzystano oprogramowanie Lima, objęła analizą hałas samochodowy, kolejowy, tramwajowy i przemysłowy. We wszystkich przypadkach zastosowano modele obliczeniowe zalecane w Dyrektywie 2002/49/WE.

Analiza wykonanej mapy akustycznej wykazała przekroczenia wskaźników L_{DWN} , L_N i M na znacznych obszarach miasta, dotyczy to zarówno hałasu samochodowego, jak i szynowego.

Szczególnie niepokojący był fakt zwiększenia liczby osób i obiektów narażonych na hałas w nocy. Przykłady przekroczeń ilustrują tabele 1 i 2 opracowane na podstawie obliczeń akustycznych otrzymanych z mapy akustycznej wykonanej w 2008 roku [10]. Warto zwrócić uwagę na fakt, że wyniki pomiarów hałasu drogowego i natężenia ruchu wykorzystane do mapy 2008 pochodzą z roku 2006, od tego czasu zmieniło się istotnie wiele czynników decydujących o poziomie hałasu, np. natężenie ruchu.

Tabela 1. Przekroczenia dopuszczalnej wartości wskaźnika L_{DWN} dla ruchu kołowego

	≤ 5 dB	5-10 dB	10-15 dB	15-20 dB	> 20 dB
Liczba mieszkańców narażonych na hałas	24 6246	30 810	13 108	2898	507
Liczba lokali mieszkalnych narażonych na hałas	19 5389	11 126	4512	1506	235
Liczba budynków służby Zdrowia narażonych na hałas	294	64	28	7	2

Tabela 2. Przekroczenia dopuszczalnej wartości wskaźnika L_N dla ruchu kołowego

	$\leq 5\text{dB}$	5-10 dB	10-15 dB	1- 20 dB	$> 20\text{ dB}$
Liczba mieszkańców narażonych na hałas	242 040	32 459	14 907	3906	257
Liczba lokali mieszkalnych narażonych na hałas	192 846	12 031	5661	1990	240
Liczba budynków służby zdrowia itp. narażonych na hałas	1440	122	39	11	0

W 2010 roku został opracowany „Program ochrony środowiska przed hałasem dla miasta Łodzi” (Uchwała nr XCI/1610/10) [11]. Wśród propozycji działań zmniejszających poziom hałasu oddziałujący na mieszkańców, a dotyczący hałasu drogowego, znalazła się (między innymi) budowa ekranów akustycznych w wybranych punktach miasta.

3.2. Wpływ ekranów akustycznych na poprawę komfortu akustycznego mieszkańców

Realizując zaplanowane w 2010 roku działania przeciwhałasowe, wykonano modernizację ulic, torowisk tramwajowych oraz zbudowano ekrany akustyczne. Skuteczność tych działań została omówiona w pracy „Mapa akustyczna Łodzi na lata 2012-2017”.

W niniejszej pracy chcemy odnieść się do oceny skuteczności ekranów akustycznych zbudowanych w Łodzi na podstawie danych z ww. opracowania i pomiarów własnych.

Skuteczność ekranów akustycznych zależy od wielu czynników:

- odległości ekranu od źródła hałasu i obserwatora,
- wysokości ekranu, źródła hałasu i obserwatora,
- długości ekranu,
- widma hałasu,
- kształtu i rodzaju ekranu.

Istotny wpływ na ww. czynniki ma istniejąca zabudowa. W praktyce maksymalna skuteczność ekranowania może się kształtować na poziomie ok. 20 dB. Typowe ekrany mają skuteczność w przedziale 5-15 dB.

W ramach działań ograniczających hałas zbudowano szklane ekrany akustyczne przy ulicy Pabianickiej (rys. 1), jest ona ważną arterią komunikacyjną miasta, występuje na niej duży ruch pojazdów kołowych i szynowych. Ekrany znajdują się na kilku odcinkach ulicy. Chronią różnorodną zabudowę (niską i średniej wysokości), chodniki, ścieżkę rowerową.

Ocenę skuteczności ekranów można przeprowadzić na podstawie tabel 3 i 4.

Z analizy tabel wynika, że ekrany akustyczne w małym stopniu poprawiły komfort akustyczny mieszkańców terenów za ekranami, dotyczy to zarówno okresu dziennego, jak i nocnego.

W przypadku pory dziennej:

O około 14% zmniejszyła się liczba mieszkańców i 13% liczba lokali mieszkalnych narażonych okresowo na ponadnormatywny poziom hałasu, tj. 65 dB. O około 8% zwiększyła się liczba mieszkańców i 9% liczba lokali mieszkalnych narażonych okresowo na hałas poniżej 65 dB. Nie wystąpiła poprawa w liczbie mieszkańców i lokali, do których dociera hałas powyżej 75 dB.



Rys. 1. Szklane ekrany akustyczne przy ulicy Pabianickiej w Łodzi

Tabela 3. Wpływ zastosowania ekranów dla wskaźnika LDWN

Wskaźnik dzienny LDWN		55-60 dB	60-65 dB	65-70 dB	70-75 dB	>75 dB
Liczba lokali mieszkalnych w danym zakresie	bez ekranów	124	141	137	30	7
	z ekranami	131	157	118	25	7
Liczba zagrożonych mieszkańców w danym zakresie	bez ekranów	209	310	239	75	11
	z ekranami	229	334	203	63	11

Źródło: Opracowanie własne na podstawie „Mapy akustycznej Łodzi na lata 2012-2017”

Tabela 4. Wpływ zastosowania ekranów dla wskaźnika LN

Wskaźnik dzienny LN		50-55 dB	55-60 dB	60-65 dB	65-70 dB	>70 dB
Liczba lokali mieszkalnych w danym zakresie	bez ekranów	98	193	76	22	0
	z ekranami	112	186	65	16	0
Liczba zagrożonych mieszkańców w danym zakresie	bez ekranów	181	371	157	46	0
	z ekranami	223	349	139	28	0

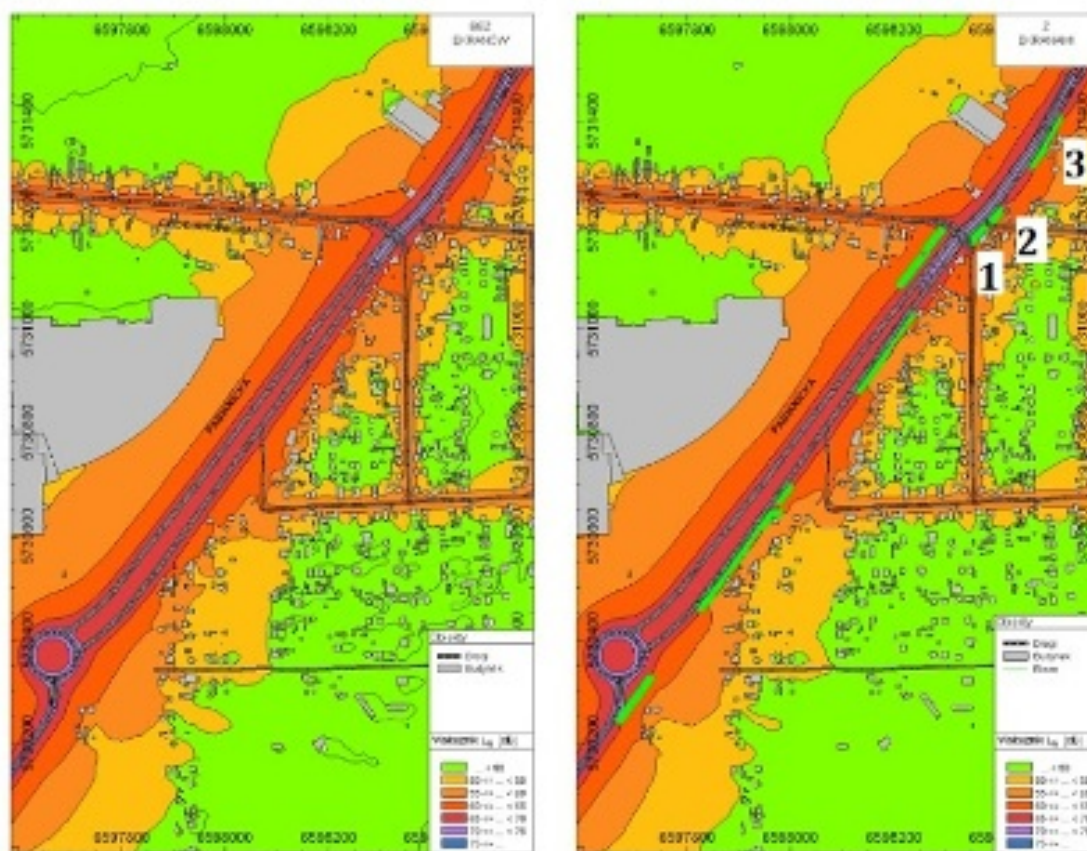
Źródło: Opracowanie własne na podstawie „Mapy akustycznej Łodzi na lata 2012-2017”

W przypadku pory nocnej:

O około 10% zmniejszyła się liczba mieszkańców i 8% liczba lokali mieszkalnych narażonych okresowo na ponadnormatywny poziom hałasu, tj. 65 dB. O około 20% zwiększyła się liczba mieszkańców i 12% liczba lokali mieszkalnych narażonych na hałas poniżej 65 dB.

Wnioski te potwierdzają mapy imisyjne dla wskaźników LDWN oraz LN (rys. 2). Zastosowane środki ochrony przeciwhałasowej na fragmentach ulicy Pabianickiej, w postaci szklanych ekranów akustycznych, nie przyniosły wymiernych efektów. Sytuacja mieszkańców poprawiła się nieznacznie. Typ zastosowanych ekranów wpłynął na

pogorszenie się klimatu akustycznego po zachodniej stronie ulicy Pabianickiej, gdzie poprzez odbicie dźwięku od szklanych ekranów poziom hałasu się zwiększył.



Rys. 2. Efekty budowy ekranu przeciwhałasowego odcinka ulicy Pabianickiej dla wskaźnika L_{DWN} (Źródło: „Mapa akustyczna Łodzi na lata 2012-2017”)

3.3. Badania poziomu hałasu w otoczeniu ekranu akustycznego

Przedstawione w rozdziale 3 wyniki badań i wnioski zostały sformułowane na podstawie map akustycznych miasta Łodzi z 2008 i 2012 roku.

W Zakładzie Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej w 2014 roku przeprowadzono badania hałasu w otoczeniu zbudowanych ekranów akustycznych na ulicy Pabianickiej.

Badania dotyczyły hałasu, na który narażeni są uczestnicy ulic i rowerzyści poruszający się w strefie ekranów i poza nimi. Pomiary zostały przeprowadzone w okolicy skrzyżowania ulic Pabianicka – Chocianowicka i Pabianicka – Wędkarska. Na terenie tym znajdują się trzy szklane ekrany akustyczne chroniące budynki o niskiej zabudowie. Dwa z tych ekranów ustawione są pomiędzy chodnikiem a budynkiem, a jeden chroni również chodnik. Pomiedzy ekranami znajduje się odcinek ulicy, który nie jest chroniony przed hałasem ekranami (rys. 2). Taki układ ekranów akustycznych pozwolił na pomiar hałasu:

- na chodniku pomiędzy jezdnią a ekranem,
- na chodniku za ekranem akustycznym,
- na chodniku niezabezpieczonym ekranem.

W każdym z wymienionych przypadków obrano trzy punkty pomiarowe, które znajdowały się centralnie na chodnikach w odległości 13 metrów od osi jezdni 1,5 metra od ekranu akustycznego.

Zmierzono równoważny poziom dźwięku A, $L_{Aeq,T}$:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

Pomiary wykonano precyzyjnymi całkującymi miernikami dźwięku Typ 2238A firmy Brüel & Kjær z filtrem oktawowym. Ze względu na rzeczywiste, zmieniające się warunki pomiarów, pomiary w dziewięciu punktach powtarzane były wielokrotnie, w różnym czasie, w celu uzyskania najbardziej wiarygodnych wyników. Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano program Noise Explorer Type 7815. Pomiary wykonano tylko w porze dziennej, w porze nocnej ruch pieszych i rowerzystów jest na tym obszarze znikomy. Pomiary wykonywane były w godzinach popołudniowych w czasie szczytu komunikacyjnego. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Poziom hałasu na chodniku w otoczeniu ekranów akustycznych

Punkty pomiarowe	Ekran I za chodnikiem L_{Aeq} [dB]	Ekran II za chodnikiem L_{Aeq} [dB]	Ekran III przed chodnikiem L_{Aeq} [dB]	Bez ekranu L_{Aeq} [dB]
1	76	76	70	72
2	78	80	65	73
3	75	77	68	72

Wyniki pomiarów poziomu hałasu na chodnikach w otoczeniu ekranów jednoznacznie wskazują, że zbudowanie ekranów na badanym terenie pogorszyło warunki akustyczne uczestników chodników – pieszych i rowerzystów. Tylko w przypadku jednego ekranu, który chroni również chodnik, poziom hałasu jest niższy aniżeli na przestrzeni otwartej.

Ekran akustyczny mają chronić przed hałasem przede wszystkim lokale mieszkalne, a więc stałych mieszkańców. Według danych podanych w opracowaniu „Mapa akustyczna Łodzi na lata 2012-2017” (s. 93), poprawa obowiązujących wskaźników akustycznych L_{DWN} i L_N po wybudowaniu wszystkich ekranów akustycznych przy ulicy Pabianickiej nastąpiła w jednym lokalu (wskaźnik L_{DWN}) oraz w 10 lokalach (wskaźnik L_N). W przypadku omawianego ekranu przy ul. Pabianickiej redukcja hałasu w godzinach popołudniowych dotyczyła czterech mieszkańców w dzień i 10 mieszkańców nocy. Jednocześnie nastąpiło pogorszenie sytuacji na chodnikach.

Miarą kosztocłonności inwestycji przeciwhałasowej jest stosunek jej kosztu do osiągniętego zysku. Kosztocłonność to wielkość, która określa, ile złotych kosztuje redukcja hałasu o 1 decybel w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Szacuje się że koszt ekranu akustycznego o wysokości 5 m i długości 300 m wynosi ok. 1 miliona złotych [12]. Biorąc to pod uwagę, należy uznać tę część inwestycji za mało efektywną.

4. PODSUMOWANIE

Program ochrony środowiska obejmuje również ochronę przed hałasem. Podstawą do przygotowania planu ochrony przed hałasem są mapy akustyczne. W opracowaniu „Mapa akustyczna Łodzi na lata 2012-2017” stwierdzono, że, znaczna liczba mieszkańców Łodzi żyje w złym i bardzo złym środowisku akustycznym:

- w przypadku hałasu samochodowego około 132,7 tys. osób,
- w przypadku hałasu kolejowego około 250 osób,
- w przypadku hałasu tramwajowego około 12 tys. osób,
- w przypadku hałasu przemysłowego około 200 osób [1].

Priorytetowym celem władz powinno być przywrócenie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Wśród propozycji działań zmniejszających poziom hałasu oddziałujący na mieszkańców, a dotyczący hałasu drogowego, znalazła się (między innymi) budowa ekranów akustycznych w wybranych punktach miasta. Ze względu na istniejącą infrastrukturę, nie zawsze ekrany akustyczne przynoszą oczekiwany efekt. Miało to miejsce w przypadku części zbudowanych ekranów przy ulicy Pabianickiej – zostało to przedstawione w niniejszej pracy. Przed podejmowaniem decyzji o lokalizacji ekranów akustycznych należy przeprowadzić szczegółową analizę oczekiwanych efektów.

LITERATURA

- [1] *Akustyczna mapa Łodzi na lata 2012-2017*, Urząd Miasta Łodzi, 2012.
- [2] *Bruit des infrastructures routières. Method de calcul incluant les effets météorologiques*, NMPB – Routes – 96 CERTU, CSTB, LCPC, SETRA, 1997.
- [3] Clayden AD, Culley RWD, and Marsh PS: *Modeling traffic noise mathematically: Applied Acoustics*, 8 (1), 1975, pp. 1-12.
- [4] *French national computation method “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”*, referred to in Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6 .
- [5] SRM II – *The Netherlands national computation method published in „Rekenen Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai 96”*, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Publikatierreeks Verstoring, No. 14/1997, VROM, November 1996.
- [6] *French standard XP S 31-133:2001, Acoustique – Bruit des infrastructures de transports terrestres – Calcul de la attenuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques*, AFNOR, 2001.
- [7] Li B., et. al. *A GIS based Road Traffic Noise Predication Model*, Applied Acoustics, 63: 2002, pp. 679-691.
- [8] PN-ISO 9613-2:2002. *Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania*.
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2010 r. w sprawie sposobu ustalania wartości wskaźnika hałasu L_{DWN} (Dz. U. nr 215, poz. 1414).
- [10] Mapa akustyczna miasta Łodzi, Konsorcjum firm OPEGIEKA, Eko-noise, Politechnika Śląska w Gliwicach, Katedra Podstaw Systemów Technicznych, Neokart Gis, dla Urzędu Miasta w Łodzi 2008.
- [11] Uchwała nr XCI/1610/10 Rady Miejskiej w Łodzi z dnia 7 lipca 2010 r. w sprawie przyjęcia „Programu ochrony środowiska przed hałasem dla miasta Łodzi”.
- [12] *Katalog cen jednostkowych robót i obiektów drogowych*, BISTXP – CONSULTING Warszawa, III kw. 2011.