

Witold ŻYWIEC, Maciej ŚLIWIŃSKI, Wojciech CIESIELKA, Andrzej GOŁAŚ

AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA,
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Prototyp stacji monitoringu klimatu akustycznego wykorzystujący układ FPGA

Mgr inż. Witold ŻYWIEC

Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Ukończył Mechatronikę na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki w 2013r., obecnie słuchacz studiów doktoranckich w dyscyplinie Automatyki i Robotyki w Katedrze Systemów Energetycznych i Urzędzeń Ochrony Środowiska. Interesuje się zagadnieniami związanymi z przetwarzaniem sygnałów oraz projektowaniem systemów pomiarowych oraz monitoringu.



e-mail: wzywiec@agh.edu.pl

Mgr inż. Maciej ŚLIWIŃSKI

Absolwent Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej. W 2013 roku ukończył studia na kierunku Mechatronika o specjalności Systemy Inteligentne. Obecnie jest studentem studiów doktoranckich w Katedrze Systemów Energetycznych i Urzędzeń Ochrony Środowiska. Interesuje się projektowaniem oraz programowaniem układów cyfrowych, szczególnie w kontekście systemów wbudowanych.



e-mail: maciejs@agh.edu.pl

Dr inż. Wojciech CIESIELKA

Adiunkt w Katedrze Systemów Energetycznych i Urzędzeń Ochrony Środowiska na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH. Autor ponad 80 publikacji naukowych. Opiekun i wykładowca na specjalności Systemy Inteligentne. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia związane z systemami inteligentnymi, cyfrowym przetwarzaniem sygnałów, informatyką oraz ochroną środowiska i energetyką.



e-mail: ghciesie@cyf-kr.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Andrzej GOŁAŚ

Profesor na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH. W przeszłości Prorektor AGH i kierownik Katedry Systemów Energetycznych i urzędzeń Ochrony Środowiska. Autor ponad 120 publikacji naukowych. Członek Komitetu Polityki Naukowej. Jego szerokie zainteresowania naukowe obejmują m.in. takie dyscypliny jak systemy inteligentne, informatykę oraz ochronę środowiska i energetykę.



e-mail: ghgol@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie

W artykule opisano autonomiczną stację monitoringu bazującą na systemie wbudowanym typu SoPC. W strukturze FPGA zintegrowano kontrolery urządzeń peryferyjnych. Wykorzystano stację pogodową oraz miernik wielkości akustycznych pozwalające na pomiar warunków pogodowych i parametrów klimatu akustycznego oraz raportowanie zdarzeń. System umożliwia zdalny monitoring i kontrolę przez sieć GSM i Ethernet oraz prezentację wartości na ekranie LCD. Innowacją jest także integracja z inteligentnym budynkiem.

Słowa kluczowe: FPGA, układy reprogramowalne, SoPC, klimat akustyczny, system monitoringu.

The prototype of an acoustic climate monitoring system based on FPGA

Abstract

In this paper, the prototype of a monitoring system is presented. Its central unit is an embedded system designed as SoPC (System on a Programmable Chip). This design allows for autonomous work of the discussed system. The monitoring system uses variety of peripheral devices to achieve its goals. All the necessary controllers of implemented devices were integrated inside an FPGA circuit. The main elements are: a weather transmitter, a sound level meter and an analyser. These devices allow the measurement and recording of weather conditions and acoustic climate parameters. Moreover, detection and recording of the occurrence of significant events is possible. Additionally, the system is equipped with components enabling remote communication, monitoring and control of the entire station through the use of a GSM modem and Ethernet technology. The measured values may be also accessed by the user directly from the monitoring station, thanks to a 7-inch LCD screen with a touch panel. The most distinctive feature of the presented system is its destination for domestic use and integration with smart building systems.

Keywords: FPGA, reprogrammable devices, SoPC, acoustic climate, monitoring system.

1. Wprowadzenie

Stan zagrożenia hałasem ocenia się z punktu widzenia potrzeb ochrony zdrowia ludzi i stworzenia im odpowiednich warunków do pracy, nauki, odpoczynku i wszelkiej innej działalności. Wymaga to zapewnienia, w miejscu przebywania ludzi, odpowiedniego klimatu akustycznego środowiska. Warunek ten dotyczy całego środowiska zarówno wewnętrznego (w tym naturalnego i zurbanizowanego), jak też środowiska zamieszkania, pracy, leczenia i rekreacji. Istotny wpływ na klimat akustyczny mają zanieczyszczenia wibroakustyczne pochodzące z tras i obiektów komunikacyjnych, obiektów przemysłowych, komunalnych, rozrywkowych, sportowych itp. [19].

Przez klimat akustyczny środowiska rozumieć należy zespół zjawisk akustycznych zachodzących w danym środowisku, wywołanych źródłami lub dźwięku lub hałasem znajdującymi się wewnątrz danego środowiska lub zewnętrznymi. Analizując prace dotyczące klimatu akustycznego możemy zasadniczo wskazać dwa obszary jego kształtowania, a dotyczą one akustyki środowiska i wewnątrz [25].

Klimat akustyczny zależy od wielu czynników zarówno obiektywnych jak również subiektywnych słuchacza czy odbiorcy, ale zasadniczo można rozróżnić dwa rodzaje klimatu: pożądany (związany z pozytywnym odbiorem dźwięku) i niepożądany (związany z negatywnym oddziaływaniem hałasu). Klimat akustyczny określa się za pomocą pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w zależności od czasu, częstotliwości i przestrzeni.

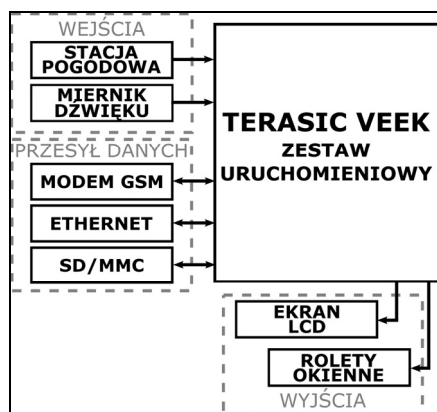
Zarówno w Polsce jak również w Europie według badań WHO, najbardziej zdegradowany jest klimat akustyczny drogowy. Co trzeci mieszkaniec naszego kontynentu narażony jest na szkodliwe działanie tego rodzaju hałasu.

Monitorując i analizując niniejszy stan Unia Europejska już w 2002 r. wypracowała wspólna politykę dotyczącą oceny i zarządzania poziomem hałasu dla krajów członkowskich [18]. W trosce o odpowiednie kształtowanie klimatu akustycznego w wielu państwach, również w naszym kraju, opracowano szereg metod i sposobów zarówno o charakterze administracyjno-prawnym jak również technicznym dotyczących oceny i zarządzania poziomem hałasu [28,24,23,19].

W wielu krajach opracowano również wieloletnie programy ochrony środowiska przed hałasem, których przygotowanie i wdrożenie poprzedzone zostało wykonaniem map akustycznych oraz monitoringiem klimatu akustycznego.

Do analiz i modelowania klimatu akustycznego wykorzystywane są systemy informacji przestrzennej [1, 4, 8] oraz metody komputerowe [20, 2, 8-12, 14, 17, 22]. W celu zapewnienia pożądanego klimatu akustycznego w środowisku zewnętrznym i wewnątrz wykorzystuje się zaawansowane metody sterowania i zarządzania obejmujące cyfrowe przetwarzania sygnałów [5-7, 11, 21] oraz struktury i algorytmy inteligentne [6, 8, 11, 13, 15, 16].

Aby właściwie analizować i diagnozować klimat akustyczny, potrzeba w pierwszej kolejności przeprowadzić monitoring wybranych parametrów. Wiele firm, zarówno krajowych [32, 33] jak również zagranicznych [30, 31] opracowało autorskie rozwiązania przyrządów, analizatorów dźwięku i stacji monitoringu. Pomimo dużej liczby ciekawych rozwiązań nadal prowadzone są prace w tym kierunku [8, 3, 26]. W niniejszym artykule zaprezentowano nowatorskie rozwiązanie systemu do monitoringu klimatu akustycznego wykorzystujące układ FPGA wyposażonego w układ sterowania roletami zewnętrznymi budynku.



Rys. 1. Schemat systemu monitoringu klimatu akustycznego
Fig. 1. Block diagram of the acoustic climate monitoring system

2. Struktura i funkcje stacji monitoringu

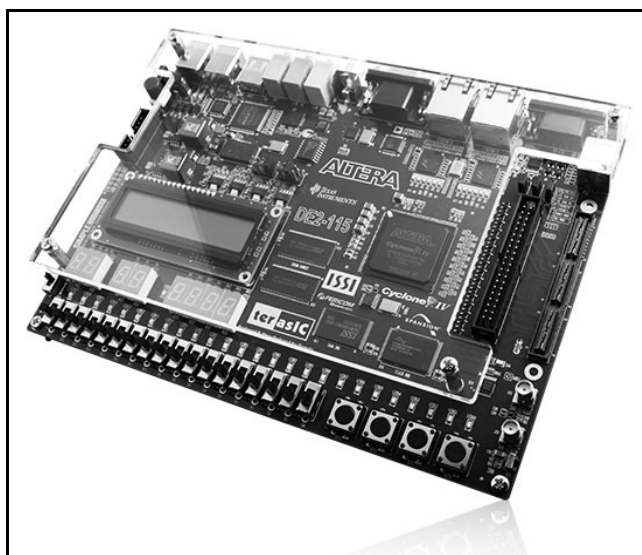
Ideą systemu jest pomiar tzw. drogowego klimatu akustycznego, czyli wybranych wielkości akustycznych jak i kilku dodatkowych parametrów pozwalających we właściwy sposób interpretować zebrane dane. W tym celu system wyposażono przede wszystkim w miernik akustyczny Svantek SVAN 945A [33], ale także w stację pogodową Vaisala WXT 520 [34]. Zestawienie tych urządzeń pozwala na odniesienie pomiarów do aktualnie panujących warunków pogodowych, takich jak: temperatura, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność względna, kierunek i prędkość wiatru, ilość oraz rodzaj opadów (deszczu i gradu), a także wedle potrzeb parametrów akustycznych takich jak: poziom ciśnienia akustycznego, skorygowane poziomy ciśnienia akustycznego A i C, poziomy dźwięku równoważny, ekspozycyjny, L_{tm3} i L_{tm5} oraz szczytowy, statystyczny rozkład dźwięku w przedziałach od 1dB do 90 dB co 10dB, analizę oktawową i częstotliwościową.

System posiada możliwość zapisu na nieulotnej pamięci w postaci karty pamięci typu SD/MMC, zdarzeń przekraczających wartości zadane przez użytkownika. Dodatkowo system monitoringu wykorzystuje technologię GSM i Ethernet w celu zdalnej kontroli oraz przesyłania wybranych raportów. Rozwiązanie takie daje możliwość gromadzenia zebranych danych na zewnętrznym serwerze, oraz wysyłanie pilnych komunikatów poprzez wiadomości SMS. Prezentowana stacja posiada także możliwość reagowania na zmierzone przekroczenia wartości równoważnego poziomu dźwięku A - poziomu hałasu, poprzez np. opuszczanie rolet

okiennych obiektu znajdującego się w pobliżu np. monitorowanej drogi.

Funkcja ta jest możliwa dzięki zastosowaniu transceivera radiowego działającego w paśmie ISM, mającego charakter w tym wypadku nadajnika sygnałów sterujących do elementów wykonawczych systemu tzw. "inteligentnego budynku" [27].

Centralną częścią systemu jest zestaw uruchomieniowy Terasic VEEK, którego bazą jest układ FPGA Altera Cyclone IV. Wykorzystanie tej technologii wraz z szeregiem korzyści płynących z niej oraz licznych podzespołów płyty głównej pozwala na zaimplementowanie dedykowanego sterownika opisywanej stacji monitoringu w zwartej formie o scentralizowanej architekturze. W projekcie wykorzystywany jest także wbudowany ekran LCD wraz z panelem dotykowym, które stanowią bezpośredni interfejs osoby obsługującej system. Schemat systemu zaprezentowano na rys. 1.



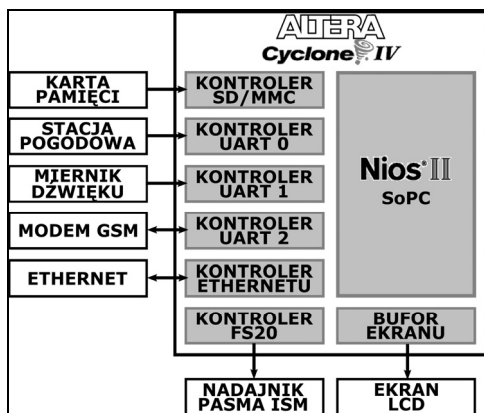
Rys. 2. Płyta główna zestawu Terasic VEEK [29]
Fig. 2. Terasic VEEK mainboard [29]

3. System w układzie FPGA

Projekt jest realizowany jako tzw. system wbudowany, czyli urządzenie posiadające główny sterownik dedykowany konkretnie do danego rozwiązania, zarówno w warstwie sprzętowej jak i programowej. W ostatnich czasach popularne stało się wykorzystywanie do tych celów układów reprogramowalnych FPGA, z uwagi na możliwość implementowania w nich nawet bardzo skomplikowanych sterowników sprzętowych składających się z kontrolerów, które działają w pełni równolegle. Biorąc pod uwagę powyższe zalety tych układów, w prezentowanym rozwiązaniu zdecydowano się na wykorzystanie zestawu Terasic VEEK z płytą główną DE2-115 (rys. 2). Jest ona wyposażona w układ FPGA Cyclone IV oraz liczne podzespoły, z których najważniejsze to:

- pamięci – 2MB SRAM, 2x64MB SDRAM, 8MB Flash, 32kB EEPROM,
- 50MHz rezonator kwarcowy,
- gniazdo kart pamięci SD,
- wyjście VGA,
- wejście video (NTSC/PAL/SECAM),
- 2 wejścia audio,
- 2 Gigabitowe porty Ethernet,
- złącze RS-232,
- złącza USB typu A oraz B,
- 7-calowy ekran LCD z panelem dotykowym,
- 26 diod, 18 przełączników i 4 przyciski,
- 40-pinowe złącze rozszerzeń ogólnego przeznaczenia.

Na rys. 3 przedstawiono schemat sterownika, który ma charakter typu SoPC (System on a Programmable Chip). Oznacza to, że praktycznie cała część cyfrowa została zawarta wewnątrz jednego układu. Struktura sterownika składa się z rdzenia procesora programowego NIOS II oraz kilku sprzętowych kontrolerów stanowiących jego peryferia. Pierwszym modulem jest kontroler kart pamięci SD/MMC, który pozwala na zapisywanie i odczytywanie plików w popularnych formatach komputerowych. Trzy kolejne urządzenia wykorzystują sterownik interfejsu UART, ponieważ zarówno stacja pogodowa, miernik wielkości akustycznych jak i modem GSM wykorzystują do komunikacji albo interfejs UART, albo RS-232. W prezentowanym rozwiązaniu wykorzystano elastyczność technologii FPGA w projektowaniu układów wbudowanych dopasowanych do potrzeb obsługiwanego systemu. Każde urządzenie posiada swój własny niezależny kontroler UART w systemie, co pozwala łatwie ich podłączenie oraz niezależną obsługę. Transceiver radiowy pasma ISM wykorzystuje z kolei interfejs SPI do konfiguracji oraz odrębny protokół transmisji komend. Dlatego zaimplementowano w systemie kontroler obsługujący obydwie wymagane formy komunikacji. W celu obsługi ekranu LCD oraz panelu dotykowego, konieczne było także wykorzystanie odpowiedniego kontrolera, którego zadaniem jest zarówno przygotowanie obrazu wyjściowego, sformatowanie go do odpowiedniej postaci oraz odświeżanie z wymaganą częstotliwością na wyświetlaczu. Kontroler ten wykorzystuje pamięć SRAM płyty głównej, jako bufor dla aktualnie wyświetlanej ramki. Ostatnim elementem jest kontroler interfejsu Ethernet, dzięki któremu system posiada możliwość komunikacji z zewnętrznymi urządzeniami poprzez np. sieć Internet lub sieć lokalną LAN.

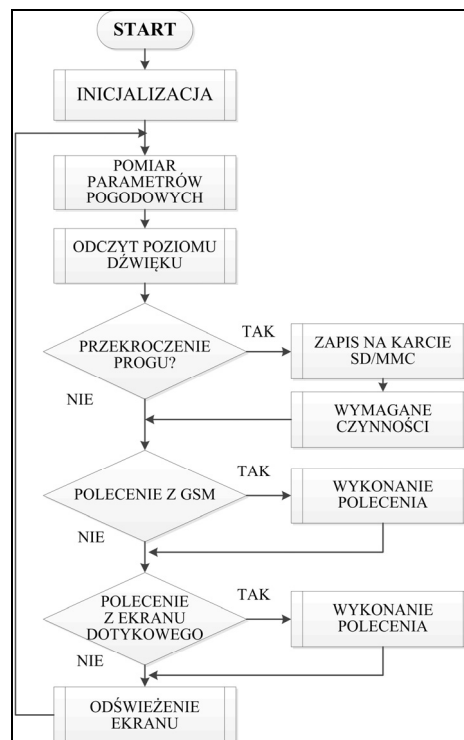


Rys. 3. Schemat struktury systemu typu SoPC wykorzystanego w projekcie
Fig. 3. Scheme of the SoPC system structure used in the design

4. Algorytm działania systemu

Największą korzyścią wynikającą ze stosowania układów reprogramowalnych jest możliwość tworzenia systemów wbudowanych, których poszczególne elementy mogą działać równolegle i całkowicie niezależnie od siebie. Pozwala to na lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów dzięki przeniesieniu części zadań do dedykowanych układów logicznych. Prezentowane rozwiązanie czerpie korzyści z takiego podejścia. W układzie FPGA zaimplementowano szereg sprzętowych kontrolerów obsługujących komunikację z zastosowanymi peryferiami bądź przetwarzających wybrane strumienie danych. Współpracują one z procesorem programowym wyręczając go w prostych lecz czasochłonnych czynnościach. Rdzeń ten pełni rolę jednostki nadrzędnej nadzorującej pracę wszystkich układów wykonując program główny napisany w języku C na podstawie algorytmu zaprezentowanego na rys. 4 oraz dokonuje analizy danych dostarczanych przez współpracujące urządzenia.

System rozpoczyna pracę od inicjalizacji wszystkich układów wejściowych i wyjściowych. W tym czasie wstępnie konfigurowany jest każdy sterownik transmisji szeregowej UART. Sterownik transceivera radiowego ustawia go w trybie pozwalającym na przesyłanie poleceń do sterownika rolet, a modem GSM potrzebuje kilku sekund na zalogowanie się do sieci. Gdy już wszystkie podsystemy są gotowe program rozpoczyna swój właściwy cykl pracy.



Rys. 4. Schemat głównego algorytmu działania systemu
Fig. 4. Diagram of the main algorithm of the system

W zaprogramowanych przez użytkownika odstępach czasu program odczytuje dane o warunkach atmosferycznych pochodzące ze stacji pogodowej i wyniki zarejestrowane przez miernik wartości akustycznych. Jeśli któryś ze zmierzonych parametrów przekracza określony poziom, system umożliwia zapis zmierzonych wartości w pliku na karcie pamięci i raport tego zdarzenia do systemów zdalnych poprzez sieć Internet. Dane te mogą być wykorzystane w dalszej analizie. Gdy poziom tła akustycznego utrzymuje się na uciążliwym dla użytkowników poziomie program może wydać drogą radiową polecenie zamknięcia rolet okiennych w celu poprawy komfortu w wybranych pomieszczeniach. Możliwe jest również informowanie o takich zdarzeniach dzięki usłudze SMS obsługiwanej przez modem GSM. Następnym krokiem programu jest sprawdzenie kolejno czy nie pojawiło się nowe polecenie za pośrednictwem SMS bądź gestu wykonanego w dotykowym interfejsie użytkownika i wykonanie odpowiadających im akcji. Na koniec działania pętli programu głównego następuje odświeżenie danych prezentowanych na ekranie LCD.

Zadania realizowane przez poszczególne sterowniki sprzętowe wykonywane są w pełni równolegle i niezależnie od siebie. Zmniejsza to opóźnienia systemu, nieodłączne przy realizacji podobnej funkcjonalności na tradycyjnych układach mikroprocesorowych. Ekran LCD wymaga ciągłego odświeżania wyświetlanej zawartości, z narzuconą częstotliwością, nawet gdy żaden z pikseli nie zmienił swojej wartości. Przeniesienie tego zadania do dedykowanego sterownika sprzętowego wyświetlającego obraz przechowywany w pamięci SRAM pozwoliło na lepsze wykorzystanie mocy obliczeniowej głównego procesora.

Praca kontrolerów UART i transceivera radiowego przebiega według podobnych założeń. Komunikacja pomiędzy nimi a rdzeniem Nios II przebiega za pośrednictwem interfejsu równoległego oraz buforów, w których dane oczekują na ich prawidłową obsługę. Zarówno stacja pogodowa, miernik wartości akustycznych jak i modem GSM obsługiwane są poprzez transmisję znaków ASCII. Ich kolejne wartości trafiają ośmiobitową szyną danych do buforów odpowiednich kontrolerów UART, które do dalszego działania nie wymagają ingerencji procesora. Komunikacja w przeciwnym kierunku przebiega analogicznie i kolejne bity przychodzące interfejsem szeregowym są buforowane aż do momentu odczytania przez program główny całego bajtu oczekującego na porcie równoległym. Kontroler transceivera radiowego na podstawie żądania wystawionego na magistrali równoległej procesora w formie kodu polecenia i adresu urządzenia docelowego (sterownika rolet) formułuje kompletną ramkę wymaganą przez protokół producenta elementu wykonawczego.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano prototyp autonomicznego systemu monitoringu klimatu akustycznego. System składa się z czterech zasadniczych podsystemów: pomiarowo-analizującego, przetwarzająco-sterującego, wykonawczego i komunikacyjnego. Jądem systemu, a zarazem elementem przetwarzająco-sterującym jest układ programowalny FPGA. Zaimplementowano w nim szereg sprzętowych kontrolerów obsługujących komunikację z zastosowanymi peryferiami bądź przetwarzających wybrane strumienie danych. W ramach prowadzonych prac zaprojektowano strukturę systemu, opracowano algorytm sterowania oraz dokonano syntezy i testów weryfikujących poprawność przyjętych rozwiązań. Zaprojektowany i wykonany system umożliwia pomiar wielkości meteorologicznych, monitoring wybranych wielkości charakteryzujących klimat akustyczny i ich analizę oraz rejestrację zdarzeń przekraczających wartości zadane przez użytkownika. Dane te są raportowane poprzez technologię Ethernet, a także lokalnie na karcie pamięci. Niniejszy system stanowi nowatorskie rozwiązanie autorów opracowania i dzięki otwartości jest i będzie systematycznie rozwijany i wzbogacany o nowe podsystemy pomiarowo-analizujące oraz wykonawcze. Niniejszy system może być wykorzystany do monitoringu klimatu akustycznego zewnętrznego m.in.: drogowego, kolejowego, przemysłowego czy lotniczego w aglomeracjach miejskich, miastach, gminach lub indywidualnych gospodarstwach domowych lub w różnych wnętrzach i salach.

6. Literatura

- [1] Adamczyk J., Ciesielka W., Czajka I., Gołaś A.: Acoustics climate controlling based on Cracow example. Politechnika Radomska Transport 2, s.11–22, 2004.
- [2] Batko W., Chyla A., Ciesielka W., Czajka I., Engel Z., Gołaś A., Litwa P., Malcharek P., Olszewski R., Wszolek T., Wszolek W.: Mapa akustyczna aglomeracji Kraków. Materiały X Konferencji Naukowej Wibrotechniki i Wibroakustyki WIBROTECH 2003, Kraków, 2003.
- [3] Batko W., Borkowski B., Głocki K.: Environment state assessment based on integrated monitoring system for acoustical and non-acoustical parameters. Pol. J. Environ. Stud. vol.17, no.3A, p.63-66, 2008.
- [4] Ciesielka W., Gołaś A., Adamczyk J.: Management of environmental noise on Cracow based example – creating information layers, Internoise Environmental Noise Control, The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering 07-10 August 2005 Rio de Janeiro – Brazil.
- [5] Ciesielka W., Gołaś A.: Active control of sound by means of digital equalizers Archiv.Acoust. vol.31, no.1, p.89-97, 2006.
- [6] Ciesielka W.: Active noise reduction system. Archiv.Acoust. vol.32, no.2, p.205-213, 2007.
- [7] Ciesielka W.: Spatial equalization of selected sound source by digital inverse filtering. Archiv.Acoust. vol. 32, no.4, p.203-212, 2007.
- [8] Ciesielka W.: Management of environmental noise – the Cracow example. Archiv.Acoust. vol.32, no.4, p.983-994, 2007.
- [9] Ciesielka W.: Computer modelling of the systems for sound control in the open space. Pol. J. Environ. Stud. vol.17,no.3A, p.113-118, 2008.
- [10] Ciesielka W., Wszolek T.: Analysis and prediction of the acoustic climate with metallurgical plant : case study. Pol. J. Environ. Stud. vol.17, no.3A, p.119-124, 2008.
- [11] W.Ciesielka: A multi-channel system for sound control in the open space. Archiv.Acoust. vol.34, no.4, p.559-577, 2009.
- [12] W.Ciesielka, A.Golaś: Analysis and prediction of railway noise in agglomeration Cracow. Pol. J. Environ. Stud. vol.18, no.3A,p.44-51, 2009.
- [13] W.Ciesielka: Using graph algorithms to build an integrated management system for an acoustic environment in the Cracow conurbation. Pol. J. Environ. Stud. vol.20, no.4A, p.22-27, 2011.
- [14] Ciesielka W., Gołaś A.: Analysis and prediction of efficiency of noise barriers in the Cracow conurbation / Pol. J. Environ. Stud. vol.20, no.4A, p.28–33, 2011.
- [15] Ciesielka W.: Using genetic algorithms in the construction of an integrated management system for urban acoustic environment. Pol. J. Environ. Stud. vol. 21, no.5A, p.36-41, 2012.
- [16] Ciesielka W.: Using neural networks in the construction of integrated management system for urban acoustic environment. Pol. J. Environ. Stud. vol.21, no.5A, p.42-47, 2012.
- [17] Ciesielka W., Filipek R.: Multi-channel sound synthesis system in open area. A case study with the use of FEM. Acta Phys. Pol. A vol.125, no.4A, p.A89-A92, 2014.
- [18] Directive 2002/49/WE of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities L 189/12, 18.7.2002.
- [19] Engel Z., Sadowski J.[red]: Ochrona środowiska przed hałasem w Polsce w świetle przepisów europejskich. Warszawa, 2005.
- [20] Gołaś A.: Computer methods for acoustics of interiors and environment, AGH University of Science and Technology Press, Kraków 1995, (in Polish).
- [21] Gołaś A., Suder-Dębska K., Ciesielka W., Filipek R.: Verification of inverse image source method applied for acoustic field creation in open area. Acta Phys. Pol.A vol.119, no.6A, 966-971, 2011.
- [22] Melnyk M., Ciesielka W., Lobur M.: Experimental estimation of noise barriers efficiency Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2009. p.141-143, 2009.
- [23] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2010 r zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu ustalania wartości wskaźnika hałasu L (DWN)wartości dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Dz.U. 2010 nr 215 poz. 1414.
- [24] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r zmieniające rozporządzenie w sprawie wartości dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Dz.U.2012 poz. 1109.
- [25] Sadowski J.: Akustyka środowiska i architektury a rozwój zrównoważony. LI Otwarte Seminarium z Akustyki. Gdańsk - Sobieszewo, 6-10.09.2004, 95-102, 2004.
- [26] Szczodrak M., Czyżewski A., Kotus J.: Investigation of the road noise source employing an automatic noise monitoring station, Archiv. Acoust. vol. 33, no.4, p.3-9, 2008.
- [27] Śliwiński M., Żywiec W., Ciesielka W., Gołaś A.: System wbudowany dedykowany dla „inteligentnego budynku” wykorzystujący układ FPGA. PAK, vol. 60 nr 4, s. 233–236, 2014.
- [28] Ustawa Prawo Ochrony Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001. Dz.U.2001.62.627 z dnia 20 czerwca 2001 r. (wraz z późniejszymi zmianami).
- [29] Altera's user manuals, documentation and tutorials, www.altera.com.
- [30] Brüel&Kjær's documentation and user manuals, www.bruel.com.pl
- [31] Norsonic's documentation and user manuals, www.norsonic.com/en/.
- [32] Sonopan Dokumentacja i instrukcje użytkownika, www.sonopan.com.pl.
- [33] Svantek's documentation and user manuals, www.svantek.com.
- [34] Vaisala's documentation and user manuals, www.vaisala.com.