

**Grzegorz KRZYWOSZYJA, Grzegorz ANDRZEJEWSKI**  
UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI, WYDZIAŁ ELEKTRONIKI, INFORMATYKI I TELEKOMUNIKACJI

## Elektroniczny system oceny stanu biologicznego rodzin pszczelich

Mgr inż. Grzegorz KRZYWOSZYJA

W roku 1980 ukończył studia na Wydziale Fizyki i Astronomii Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Zielonej Górze. W roku 2000 ukończył studia podyplomowe z informatyki w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zielonej Górze. W roku 2010 ukończył studia inżynierskie w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Gorzowie. Obecnie jest słuchaczem drugiego roku studiów doktoranckich na Uniwersytecie Zielonogórskim. Jest nauczycielem fizyki i przedmiotów zawodowych w szkole średniej.

e-mail: sp3jgv@op.pl



Dr inż. Grzegorz ANDRZEJEWSKI

Dr inż. Grzegorz Andrzejewski urodził się w roku 1970. Studia ukończył w roku 1995 na Politechnice Poznańskiej. Stopień doktora z zakresu informatyki uzyskał na Politechnice Szczecińskiej w roku 2002. Jego zainteresowania naukowe ukierunkowane są na zagadnienia modelowania i syntezy systemów sterowania cyfrowego.

e-mail: g.andrzejewski@iie.uz.zgora.pl



### Streszczenie

Artykuł przedstawia opis autorskiego systemu elektronicznego przeznaczonego do oceny kondycji rodzin pszczelich. Opisano architekturę systemu, urządzenie rejestrujące dźwięki w ulu oraz podzespoły elektroniczne przeznaczone do pomiarów parametrów środowiska. System ma rejestrować dźwięki wytwarzane przez pszczoły i na tej podstawie ocenić stan rodziny pszczelej. Przeprowadzona ocena statystyczna wybranych dźwięków pozwala wysnuć wniosek, że możliwe będzie wykorzystanie metod analitycznych do ich identyfikacji.

**Słowa kluczowe:** pszczoły, dźwięki, system, mikrokontroler.

### Electronic system for assessing the biological condition of colonies

#### Abstract

The paper contains a description of the intended analysis of sounds produced by bees. The system consists of electronic parts placed in a hive. The block diagram of the device shown in Figure 2 and its view in Figure 3. An electronic component is used for recording and audio processing. The processed sound is extracted knowledge of the behavior of bees. The results of calculations are sent via a local network to the database. An expert system interprets the collected data and sends it to the user. The system diagram is shown in Figure 1. Preliminary analyzes show a great diversity of sound depending on a situation in the hive. Figure 7 shows the spectrogram of the sound produced by the mother bee. Simple statistics show the differences in the density distribution of the signal. A success will be to create diagnostic tools. The second objective is to develop analytical methods for identifying the behavior of bee colonies. The research work focuses on assessing the possibility of automating the process of interpretation of the sounds produced by bees. The combination of electronic devices and analytical methods aims at creating an expert system supporting the work of man.

**Keywords:** honeybee, sound, expert system, microcontroller.

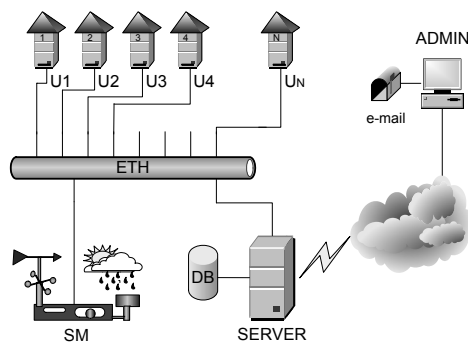
### 1. Wstęp

Problem masowego ginięcia pszczół nazwano Colony Collapse Disorder (CCD). Na przełomie roku 2000/2001 w niektórych regionach świata zaobserwowano od 50% do 100% śmiertelności całych pasiek [1]. W latach 2006/2007 wyginęło około 2,4 miliona rodzin pszczelich [2]. W tym samym roku (2006) w USA oszacowano straty w rolnictwie na około 3,5 miliarda dolarów [3]. O wadze problemu świadczą kwoty rzędu 450 milionów dolarów przeznaczane w USA na wsparcie projektów badawczych [4] dotyczących tylko kontroli liczebności pszczół. Przyczyny zjawiska nie ustalono jednoznacznie, podejrzewa się [5]: zmiany klimatu, nadmierne stosowanie pestycydów, opanowanie chorobami oraz łączne działanie tych czynników na zmniejszenie odporności immunologicznej i zdolności zapamiętywania. W Polsce badania prowadzone są w Puławach (Instytut Ogrodnictwa, Wydział Pszczelnictwa) i w Toruniu (Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska).

Jak informują pracownicy wspomnianych ośrodków nie prowadzi się w nich badań o podobnym charakterze. Na świecie [6, 7] podejmuje się próby badania odgłosów pszczół, których wyniki mają naturę opisową. Obecnie w Polsce nie ma systemu służącego do testowania toksyczności ostrej lub chronicznej powietrza [8]. System przeznaczony jest do wykorzystania przez ośrodki naukowo badawcze, indywidualnych hodowców pszczół, wojskowe służby chemiczne, służby ochrony i monitoringu stanu środowiska. W roku 2012 zebrano materiał przeznaczony do wstępnej oceny możliwości wykrywania zjawisk przez specjalizowane urządzenia elektroniczne. Zebrano około 400GB nagrań w sytuacjach: silnego pobudzenia, nastroju przed rojeniem, rojenia, osierocenia, zakażenia chorobą oraz w czasie szybkiej zmiany warunków atmosferycznych. Zebrany materiał służy do poszukiwania wiedzy w danych. Równoległe z badaniami teoretycznymi prowadzone są prace konstruktorskie.

### 2. Główne założenia systemu

Prace prowadzone przez autorów zmierzają w kierunku stworzenia systemu elektronicznego monitorującego stan rodzin pszczelich w sposób ciągły z prezentacją analiz i wywoływaniem alertów w stanach krytycznych. Głównym założeniem jest stworzenie lokalnej sieci, w której każdy badany obiekt wyposażony będzie w system wbudowany. Do głównych zadań systemu zaliczyć należy: organizacja procesu pobierania danych, wstępna obróbka wyników pomiarów, zarządzanie procesem przesyłania wyników i surowych danych do bazy, kontrola przepływu danych w sieci oraz zarządzanie trybami pracy indywidualnych podsystemów pomiarowych. Dane pomiarowe i wyniki analiz gromadzone będą w lokalnej bazie danych zainstalowanej na serwerze LAN. Wyniki analiz, alerty i wybrane dane będą przesłane do sieci publicznej. Planuje się również zdalne nadzorowanie pracy systemu. Obraz poglądowy systemu pomiarowego przedstawiono na rys. 1.

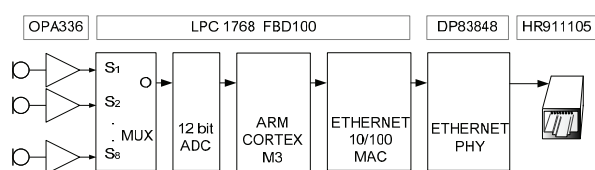


Rys. 1. Architektura systemu  
Fig. 1. System architecture

System wyposażony będzie w jednostkę przeznaczoną do systematycznego gromadzenia informacji o podstawowych parametrach fizycznych środowiska oraz synchronizację czasu z jednostkami autonomicznymi. W miarę rozwijania analitycznych metod badawczych jednostki pomiarowe przejmą ciężar obliczeń na siebie a do bazy danych wysyłane będą gotowe wyniki, które system ekspertowy: zinterpretuje, sklasyfikuje a w szczególnych sytuacjach wygeneruje zewnętrzne alerty.

### 3. Budowa przyrządu pomiarowego

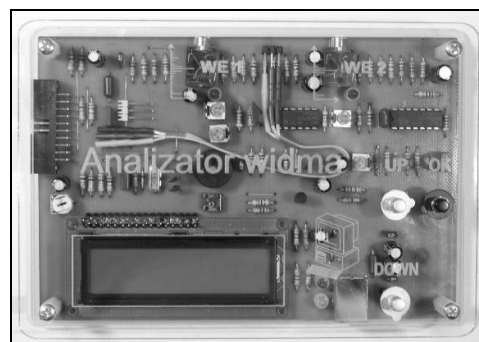
Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat blokowy wbudowanego podsystemu pomiarowego.



Rys. 2. Jednostka pomiarowa  
Fig. 2. Measuring unit

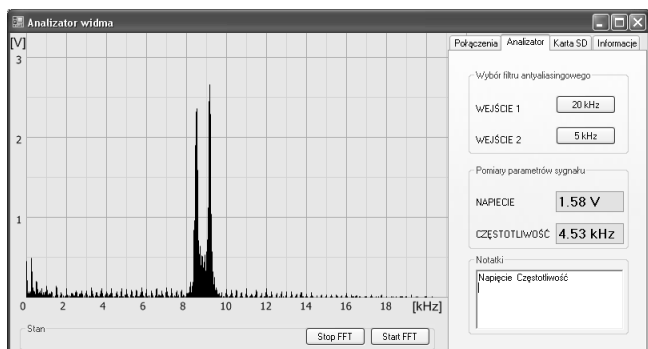
Sygnal akustyczny otrzymany z wybranego mikrofonu elektrowowego jest wzmacniany do poziomu akceptowanego przez przetwornik analogowo cyfrowy. Aby oddać rzeczywisty charakter dynamiki mierzonych dźwięków wzmacniacz pracuje bez automatycznej regulacji wzmocnienia. Wartość jego wzmocnienia ustalono kompromisowo tak, aby nie doprowadzać do przesterowania przetwornika AC oraz wykorzystać jego pełny zakres dynamiki. Przypadek utraty danych w wyniku przesterowania możliwy jest do kontroli przez jeden z rejestrów procesora. Dolnoprzepustowe filtry konieczne są ze względu na fakt, iż większość badanych efektów występuje na początku pasma akustycznego. Zjawisko aliasingu wprowadziłoby w badany obszar fałszywe sygnały z przeciwległego brzegu badanego widma. Wybrany multiplekserem MUX, sygnał ( $S_x$ ) poddany jest próbkowaniu. Po wykonaniu obliczeń (transformacje, ocena parametrów statystycznych, interpretacja wyników) system podejmie szereg decyzji. Wyniki i dane przesłane zostaną do lokalnej sieci. W systemie wbudowanym są trzy układy scalone. Pierwszy, OPA336 jest wielokrotnym wzmacniaczem operacyjnym. Drugi to mikrokontroler LPC1768 przejmujący cały ciężar działania (przetwarzanie, obliczenia i transmisja danych). Trzeci układ, DP83848 jest buforem oddzielającym układ mikrokontrolera od sieci kablowej. Aby wykluczyć wpływ pola elektromagnetycznego na badane obiekty, połączenia w sieci wykonano kablem. Przed wykonaniem prototypu analizatora przeprowadzono szereg testów mających na celu sprawdzenie możliwości zasobów sprzętowych mikrokontrolera oraz dostępnego oprogramowania. W pracach prototypowych wykorzystano zestawy uruchomieniowe z mikrokontrolerami 32 bitowym LPC2138 z rdzeniem TDMI oraz LPC1768 z rdzeniem Cortex 3. Wymienione mikrokontrolery posiadają wiele wbudowanych urządzeń peryferyjnych przydatnych w realizacji projektu. Do istotnych należy zaliczyć: przetwornik analogowo-cyfrowy z multiplekserem, sprzętowy kontroler ethernetu, kontroler przerwań, kontroler DMA, kontroler USB, kontroler magistrali I<sup>2</sup>C, wbudowany zegar czasu rzeczywistego i inne. Zegar mikrokontrolera stabilizowany jest zewnętrznym kwarcem o niewielkiej częstotliwości (od 1MHz do 25MHz) [9]. Układ scalony mikrokontrolera zawiera wolnobieżny generator pracujący z wielką częstotliwością synchronizowany z generatorem kwarcowym przy pomocy pętli PLL. W efekcie rdzeń taktowany jest częstotliwością 100MHz (LPC1768). Wprowadzenie układu w tryb szybkiej pracy wymaga ingerencji programowej. Tryby pracy procesora decydują o ilości pobieranej energii ze źródła zasilania. W trybie pracy powolnej układ pobiera mniejszą ilość energii. Dalsze zmniejszenie energii można uzyskać wprowadzając układ w tryb uśpienia.

Ze względu na to, że projektowany system pomiarowy będzie pracował w dużej odległości od sieci energetycznej (w miejscu lokalizacji pasieki), będzie zasilany bateryjnie. Od początku prac projektowych aspekt energetyczny jest rozważany na każdym etapie prac projektowych. Wybudzenie układu ze stanu uśpienia może nastąpić na przykład przez zgłoszenie przerwania od zegara czasu rzeczywistego (do obsługi zdarzenia dedykowany jest kontroler WIC Wakeup Interrupt Controller). Obsługa trybu uśpienia i wybudzenia wymaga obsługi programowej i zachowania pewnych warunków (np.: przed uśpieniem musi być zakończona obsługa układów peryferyjnych łącznie z operacjami na pamięci, podczas wyjścia z uśpienia wymagana jest ponowna synchronizacja PLL i konfiguracja trybu pracy). Przygotowanie układu do pracy w trybie szybkim jest procesem wieloetapowym. Istnieje mechanizm zabezpieczenia przed nieprawidłową konfiguracją. Od strony programowej konfiguracja jest operacją na wartościach kilku rejestrów. Kolejnym istotnym elementem układu pomiarowego jest przetwornik analogowo cyfrowy. Jego maksymalna częstotliwość taktowania wynosi 13MHz. Na każdą sukcesywną aproksymację potrzebuje około 65 cykli zegarowych, co daje teoretyczną możliwość powtarzania pomiaru z częstotliwością 200kHz. Prawo Nyquista narzuca warunek na częstotliwość próbkowania. Aby pokryć cały zakres akustyczny (20kHz) należy próbować sygnał badany z minimalną częstotliwością 40kHz. Z obliczeń wynika, że przetwornik ma pięciokrotnie większe możliwości. Gdyby zaistniała konieczność wykorzystania wszystkich multipleksowanych kanałów (8 wejść) konieczne było by obniżenie górnej granicy badanego pasma do 12,5kHz. Wszystkie wykonane obliczenia są przybliżone, ponieważ nie uwzględniają czasu potrzebnego na programową obsługę przetwornika. W praktyce oba układy (LPC1768 i LPC2136) podczas pracy z jednym kanałem o szerokości 20kHz, obciążone przetwarzaniem sygnału w dziedzinę częstotliwości i transmisją danych do komputera dają możliwość obserwacji widma w czasie rzeczywistym bez konieczności posiłkowania się kanałami DMA. Kontroler ethernetu posiada szereg przydatnych funkcji. Jedną z nich jest możliwość wybudzenia układu mikrokontrolera z uśpienia. Funkcjonalność umożliwia cykliczne zlecenie przez sieć LAN wykonania pomiaru, po którym układ ponownie przejdzie w tryb uśpienia. Inne funkcjonalności kontrolera [9]: zawiera 10/100 Mbps MAC (Media Access Controller), zdolny do współpracy z DMA, sprzętowo dokonywana operacja powtarzania transmisji, operacja wysyłania danych i odbioru w pełni kontrolowana (bez udziału procesora), możliwość operowania na wybranym fragmencie pamięci RAM, automatyczne budowanie ramki bez kopiowania części z danymi do buforów, możliwość pracy w trybie full duplex i inne. Podłączenie układu mikrokontrolera do sieci wymaga oddzielnego układu scalonego buforującego (DP83848) oraz separacji od składowych stałych występujących w kablach (zapewniają transformatory zwykle zintegrowane z gniazdem RJ45). Testy z zestawami uruchomieniowymi pozwoliły na konstrukcję analizatora widma, który bezpośrednio transmitował dane do sieci i umożliwiał ich obserwację w czasie rzeczywistym. Prototyp analizatora przedstawiono na rys. 3.



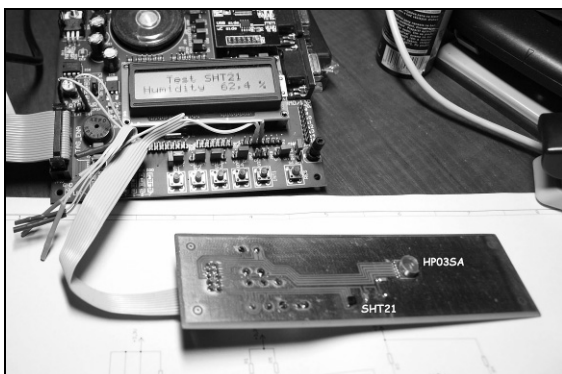
Rys. 3. Fotografia analizatora widma  
Fig. 3. Photo of the spectrum analyzer

W zbudowanym analizatorze zastosowano dwa filtry antyaliasingowe podłączone do oddzielnych wejść multiplexera (górna część rys. 3, WE1 i WE2). Przełączanie filtrów odbywa się drogą programową synchronicznie z wyborem zakresu widma poddawanej analizie lub przyciskami wyboru na płycie prototypu (prawa, dolna część rysunku - UP, DOWN, OK). Na rys. 4 przedstawiono wygląd aplikacji obsługującej zdalnie przyrząd pomiarowy (w fazie wybór szerokości analizowanego widma).



Rys. 4. Obserwacja wyników analizy sygnału  
Fig. 4. Observation of signal analysis results

Dane otrzymane z przetwornika analogowo cyfrowego poddawane są okienkowaniu przed procesem transformacji. Aby nie obciążać procesora powtarzającymi się obliczeniami zgromadzono w pamięci programu tablice z danymi większości znanych typów okien. Wybór typu okienkowania możliwy jest z poziomu analizatora widma (przyciski UP, DWN i OK) oraz przez rozkazy konfiguracyjne wysyłane przez aplikację działającą w komputerze osobistym. Dane otrzymane z prototypu analizatora (gotowe próbki widma) przesyłane są przez port USB lub przez sieć LAN (prototyp z mikrokontrolerem LPC1768) i wizualizowane na ekranie komputera osobistego. Aplikacja obsługująca analizator umożliwia bezpośredni pomiar (wprost z ekranu) interesujących parametrów widma poprzez wskazanie ich kursorem myszki. Strategia budowy analizatora oparta została na prototypowaniu modułów funkcjonalnych, a następnie na łączeniu ich. Przeprowadzono niezbędne testy podzespołów do pomiaru warunków fizycznych. Na rys. 5 przedstawiono prototyp modułu pomiaru ciśnienia, temperatury i wilgotności w trakcie testów oprogramowania.



Rys. 5. Moduł pomiaru wilgotności i ciśnienia  
Fig. 5. Module of humidity and pressure measurement

Barometr HP03SA jest hybrydą mechaniczno-elektroniczną. Układ mierzy również temperaturę. Obydwa urządzenia obsługuje wspólny przetwornik analogowo cyfrowy odpowiednio przyłączony. Z zależności fizycznych wynika, że wzrost temperatury gazu w zbiorniku pomiarowym wywołuje wzrost ciśnienia, który musi być skompensowany. Kompensacja odbywa się na drodze analitycznej. Na etapie produkcji sprawdza się parametry urządzenia, określa współczynniki równania kompensacyjnego i zapisuje w pamięci EPROM. Program mikrokontrolera odczytuje zapisane

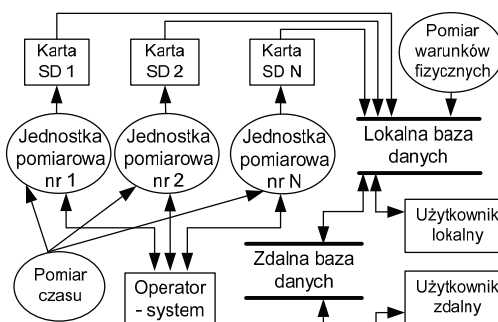
współczynniki, a następnie wartości zmierzone przez przetworniki i opierając się na odczytach i pomiarach dokonuje obliczenia rzeczywistej wartości. Odczyt zawartości EPROM może odbyć się jednokrotnie z przypisaniem wartości do zmiennych programu. Współczynniki nie można zapisać na stałe w pamięci programu mikrokontrolera, ponieważ może zaistnieć potrzeba wymiany barometru. Obsługa 16 bitowego przetwornika sigma delta spoczywa na programie mikrokontrolera. Producent wyprowadził na zewnątrz wejście zegarowe przetwornika, które podłączone do wyjścia mikrokontrolera taktowane jest podczas konwersji stabilnym sygnałem o częstotliwości 32768 Hz i współczynnikiem wypełnienia 1/2. Proces wyłączenia czasomierza T0 odbywa się synchronicznie z niskim stanem wyjścia taktującego przetwornik. Utrzymywanie w stanie wysokim, wejścia zegarowego przetwornika skutkuje błędami w kolejnych pomiarach. Nota aplikacyjna producenta [10] nie zwraca uwagi na ten temat. Procedura obliczeń wartości rzeczywistych temperatury i ciśnienia polega na rozwiązaniu równania nieliniowego, którego współczynniki odczytano z pamięci EPROM, a wartości z przetwornika analogowo cyfrowego. Czujnik wilgotności i temperatury typu SHT21 to zintegrowana konstrukcja zawierająca polimerowy element czynny, 12 bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy oraz kontroler magistrali I2C. Niezbędne obliczenia polegają na rozwiązaniu równania liniowego z jedną niewiadomą, którą zawsze jest wartość odczytana z przetwornika analogowo-cyfrowego. Po stronie programowej odczyt wilgotności względnej wymaga rozwiązania równania postaci (1).

$$RH = -6 + 125 \cdot \frac{S_{RH}}{2^{16}} \quad (1)$$

$RH$  oznacza wartość rzeczywistą wilgotności powietrza.  $S_{RH}$  jest binarnym wynikiem pomiaru odczytanym z przetwornika. Odczyt wilgotności może odbywać się nie częściej, niż co pół sekundy. Obliczenie temperatury odbywa się w podobny sposób (2).

$$T = -46.85 + 175.72 \cdot \frac{S_T}{2^{16}} \quad (2)$$

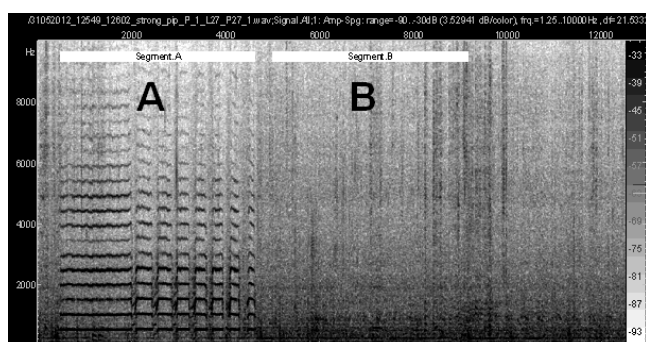
$T$  oznacza wartość rzeczywistą temperatury powietrza.  $S_T$  jest binarnym wynikiem pomiaru odczytanym z przetwornika. Zależność matematyczną można dostosować do prezentacji temperatur w innych skalach. Zastosowane mikrokontrolery mają wbudowany zegar czasu rzeczywistego oraz kontroler SPI. Kontroler SPI można wykorzystać do sprzętowej obsługi karty SD. Aby zapewnić czasową niezależność układów pomiarowych od układu nadrzędnego karta SD pełni funkcję bufora danych (możliwość samodzielnego pomiarów przez wiele godzin bez współpracy z systemem nadrzędnym). Inne urządzenia wykorzystane do konstrukcji systemu takie jak: przełączniki, modemy, routery, serwer, pamięci masowe nie wymagają szczegółowego opisu. Diagram przepływu danych w systemie przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Diagram przepływu danych  
Fig. 6. Data flow diagram

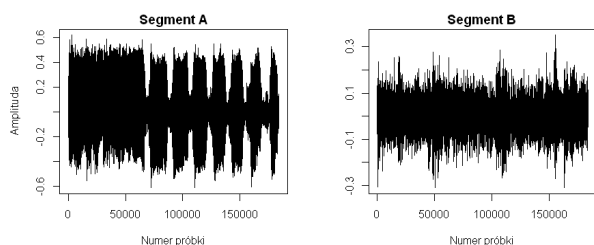
## 4. Wstępna analiza dźwięków

Dane akustyczne zbierano w rejonie zachodniej Polski od kwietnia do października roku 2012. Do analizy dźwięków wykorzystano program STx 4.0.0 wykonany przez grupę naukowców z Austrian Academy of Sciences Acoustics Research Institute. Konieczne obliczenia przeprowadzono w programie R 2.25.2 The R Foundation for Statistical Computing. Jako przykład przedstawiono wybrany fragment nagrania z rodziny znajdującej się w głębokim nastroju rojowym. Analizowany fragment pochodzi z kontrolnego zapisu uzupełniającego wykonanego cyfrowym dyktafonem (WS760M OLYMPUS). Stereofoniczne nagranie wykonano z precyzją 16 bitową i częstotliwością próbkowania 44.1kHz. Do badania przeznaczono ciągłe (kilkugodzinne) nagranie stereofoniczne wykonane w maju 2012r. w rodzinie opowanej głębokim nastrojem rojowym. Z wyciętego fragmentu usunięto kanał zawierający dane gorszej jakości. Spektrogram fragmentu nagrania zawierającego odgłos matki przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Spektrogram dźwięku  
Fig. 7. Sound spectrogram

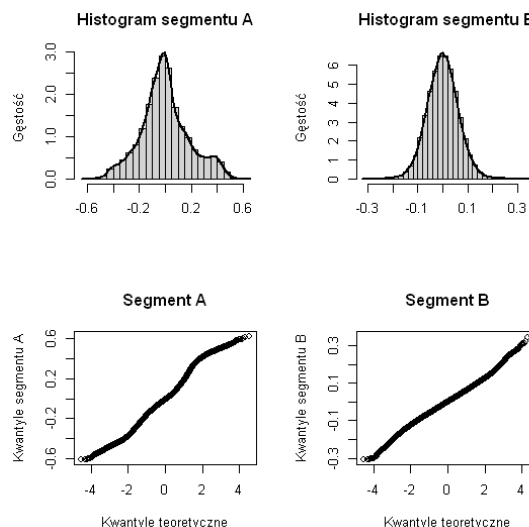
Spektrogram przedstawia kilkunastosekundowe nagranie obserwowane w zakresie do 10kHz. W części oznaczonej etykietą „Segment A” przedstawiono odgłos matki pszczoły trwający około 4200ms. Dźwięk ma częstotliwość podstawową 487Hz i zawiera kilkanaście częstotliwości harmonicznych (parzystych i nieparzystych). Duża złożoność widma wskazuje na impulsowy charakter drgań źródła dźwięku. Na początku pojawia się w sekwencji długa a następnie siedem krótkich. Z wielu obserwacji wynika, że przeważnie serię krótkich sekwencji poprzedza jedna długa. Na rys. 8 przedstawiono wykresy amplitudy w funkcji czasu segmentów A i B. W obszarze segmentu A widoczny jest fragment zmodulowany amplitudowo.



Rys. 8. Dźwięki w dziedzinie czasu  
Fig. 8. Sounds in the time domain

Dźwięki z wydzielonych segmentów poddano oglądowej ocenie statystycznej. Wynik analizy przedstawiono na rys. 9. W rozkładzie segmentu A (zawierającego odgłos matki) widać prawostronną skośność rozkładu. Słabszy, drugi mod widoczny jest w okolicach wartości 0,4 co świadczy o nałożeniu na siebie dwóch zjawisk (szumu normalnego i informacji). Obydwa rozkłady oglądowo przypominają rozkład normalny. Małe odstępstwa można zaobserwować na wykresach kwantylowych w formie zafalowań. W trakcie badań stwierdzono istnienie szeregu dźwięków do tej

pory nie opisywanych. Jednoznaczna ich wykrywalność jest w centrum obecnych zainteresowań.



Rys. 9. Rozkłady statystyczne  
Fig. 9. Statistical distributions

## 5. Wnioski

Analiza pozyskanych serii czasowych ujawnia fakt, że sygnały wytwarzane przez pszczoły nie są szumem pozbawionym informacji. Pozyskanie wiedzy ze złożonych struktur, jakimi są dźwięki, wymaga stosowania złożonych technik badawczych [11-13]. Wielka ilość danych wymaga stosowania redukcji danych, skumulowanych reprezentacji danych i algorytmów szybkiego ich przetwarzania [12]. Budowany system może oddać nieocenione usługi przyszłym użytkownikom zmniejszając ryzyko hodowli i jej pracochłonność. Powstający system może również przyczynić się do przyspieszenia procesu wyjaśnienia przyczyn postępującego zamierania gatunku.

## 6. Literatura

- [1] Schwartz J.: Native bees are better pollinators, more plentiful than honey bees, Cornell University Press Release, 2011.
- [2] Calderone N.: UPDATE on CCD, Laboratory for Honey Bee Studies Cornell University, 2008.
- [3] Harden H.: USDA's Response to Colony Collapse Disorder, United States Department of Agriculture, 2012.
- [4] Danforth N.: Importance Of Native Bees In Northeastern Apple Production, Cornell University, 2008.
- [5] Moshman L.: Investigations of the primary cause of Colony Collapse Disorder, Cornell University, 2011.
- [6] Mezquida A.: Short communication. Platform for bee-hives monitoring, Departamento de Sistemas Informáticos y Automática, 2009.
- [7] Nieh J.: Behaviour-locked signal analysis reveals weak 200–300 Hz comb vibrations, The Journal of Experimental Biology, 2000.
- [8] Traczewska M.: Biologiczne metody skażenia środowiska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
- [9] LPC17xx User manual UM10360, NXP Semiconductor, 2010.
- [10] HP03 programming guide, HOPE RF, 2007.
- [11] Ian H.: Data mining, Elsevier Inc., San Francisco, 2005.
- [12] Rajaraman A.: Mining of Massive Datasets, Anand Rajaraman and Jeffrey D. Ullman, 2011.
- [13] Gaber M.: Scientific Data Mining and Knowledge Discovery, Springer, 1998.