

**Piotr BOBIŃSKI**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, INSTYTUT RADIOELEKTRONIKI

## Elektroakustyczne metody detekcji żerujących w drewnie larw owadów

**Dr inż. Piotr BOBIŃSKI**

Adiunkt na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych PW. Autor lub współautor ponad 20 publikacji naukowych. Aktualne obszary zainteresowań: nowoczesne technologie komunikacyjne i programowe w skupionych i rozproszonych systemach pomiarowo-kontrolnych, systemy multimedialne, cyfrowe przetwarzanie sygnałów audio.



e-mail: pbo@ire.pw.edu.pl

### Streszczenie

W referacie przedstawiono wyniki rejestracji sygnałów akustycznych, wytwarzanych przez żerujące w drewnie larwy spuszczela pospolitego. Zaprezentowano wykorzystywaną aparaturę pomiarową oraz przedstawiono metodykę badań. Dalej opisano pierwsze rezultaty badań, metodę czasowej analizy zarejestrowanych sygnałów oraz jej wyniki, pozwalające na wykrycie obecności szkodników w drewnie oraz oszacowanie ich liczebności

**Słowa kluczowe:** elektroakustyka, owady ksylofagiczne, ochrona drewna

## Electroacoustic Methods of Wood Feeding Insects Larvae Detection

### Abstract

The paper presents results of registration of acoustic signals produced by feeding of grown house longhorn beetle larvae. First the measurement equipment and the research methodology are shown. Then the specialized software for registered signals time analysis is elaborated. Performed analysis should be helpful in detection of the insects' activity and estimate the population of insects.

**Keywords:** electroacoustics, xylophagic insects, wood protection

## 1. Wstęp

Problematyka dotycząca ochrony drewna przed owadami staje się ostatnio coraz bardziej aktualna i ważna. Z jednej strony wynika ona z rozwoju budownictwa szkieletowego, które obecnie stanowi zdecydowanie dominujący liczebnie typ konstrukcji w drewnianym budownictwie mieszkaniowym i w którym szkody wywołane przez owady bądź ich larwy mogą powodować wymierne straty materialne. Z drugiej strony problem dotyczy również niszczenia materialnych dóbr kultury (zabytki, rzeźby, meble), gdzie ewentualne straty nie zawsze daje się przeliczyć na ekwiwalent pieniężny.

Najgroźniejsze gatunki owadów mogą niszczyć drewno przez szereg pokoleń aż do całkowitego zniszczenia i nie dają się wyeliminować poprzez przestrzeganie profilaktyki budowlanej. Niewątpliwie najgroźniejszymi szkodnikami różnych gatunków drewna w Polsce są spuszczel pospolity i kołatek domowy, które występują najpowszechniej i powodują największe szkody. Są one spotykane często w budownictwie szkieletowym tzw. stylu nadświdrzańskiego z lat 20 i 30-tych naszego stulecia. Spuszczel, jako zdecydowany termofil, atakuje więźby dachów, ale często również poraża elementy szkieletu ścian i ganków. Kołatek domowy, wymagający umiarkowanych warunków termicznych

i większej wilgotności powietrza, niszczy przede wszystkim deski i legary podłogowe nad piwnicami, a także wszelkie drewno w pomieszczeniach piwnicznych. Inne gatunki owadów, np. termyty, mogą powodować zniszczenia drewnianego wystroju wnętrz, np. parkietów, boazerii, umeblowania itp.

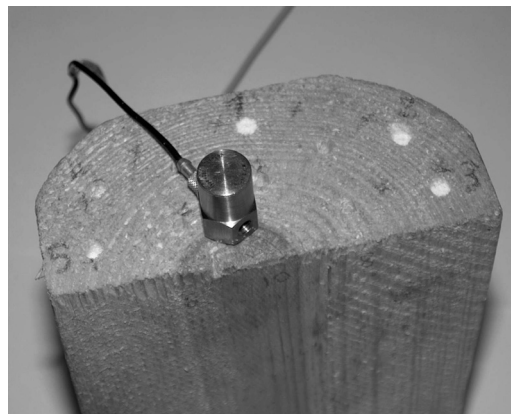
Zupełne fiasko przyniosły dotychczasowe próby zastosowania w tym zakresie termografii [4]. Klasyczna, rentgenograficzna metoda detekcji, oprócz niewątpliwych zalet, wykazuje też szereg mankamentów [3]. Jeszcze bardziej dokładna metoda, tomografia komputerowa, nie pozwala również uchwycić pewnych obiektów w drewnie [2]. W przypadku utylitarnego zastosowania wszystkie metody detekcji wykorzystujące promieniowanie rentgenowskie mają niewielką przydatność w badaniach terenowych, a w przypadku laboratoryjnych badań podstawowych nie stwarzają perspektyw poznania takich zjawisk, jak okresowa (np. dobowo) aktywność spuszczela.

Duże możliwości badawcze stwarza w tych przypadkach elektroakustyczna rejestracja dźwięków wydawanych przez żerujące larwy owadów [1]. W przypadku stosunkowo dużych osobników spuszczela pospolitego (*Hylotrupes bajulus* L.) dźwięki wydawane przy skrawaniu drewna zuwaczkami w sprzyjających warunkach są uchwytnie słuchem, nawet bez wyposażenia technicznego, tyle tylko, że larwy nie zawsze "odzywają się na życzenie", kiedy badacz zamierza je podsłuchiwać. Niewątpliwie pomogłaby tu elektroakustyczna rejestracja takich dźwięków, prowadzona przez dłuższy czas - nawet przez kilka dni. Niniejsza publikacja zawiera rezultaty badań, przeprowadzonych na najbardziej "łatwym" gatunku, jakim jest spuszczel pospolity.

## 2. Dobór aparatury i metodyka badań

W pierwszym etapie prac opracowano elektroakustyczne stanowisko laboratoryjne i dobrano odpowiedni sprzęt pomiarowy do rejestracji niskopoziomowych sygnałów wytwarzanych przez żerujące larwy szkodników.

Do rejestracji wykorzystano piezoelektryczny czujnik przyspieszenia, z którego sygnał był podawany do przedwzmacniacza ładunkowego, a następnie do wzmacniacza pomiarowego. Sygnał wzmocniony rejestrowano poprzez transformator separujący z wykorzystaniem standardowej karty dźwiękowej i komputera klasy PC. Na rysunku 1 zamieszczono zdjęcie czujnika drgań zamocowanego do badanego obiektu.



Rys. 1. Czujnik przyspieszenia w badanej próbce drewna  
Fig. 1. Accelerometer in investigated wood sample

Rejestrowano sygnały akustyczne wzdłuż włókien próbek drewna. Dla każdej próbki rejestrowano sygnał przez około 24 godziny. Sygnały były zamieniane na postać cyfrową za pomocą przetwornika a/c umieszczonego w karcie dźwiękowej z częstotliwością próbkowania 22050 Hz, rozdzielczością 16 bitów i zapisywane w formacie WAVE. Wielkość pliku z zapisem dobowym dla jednej próbki drewna wynosiła około 4 GB.

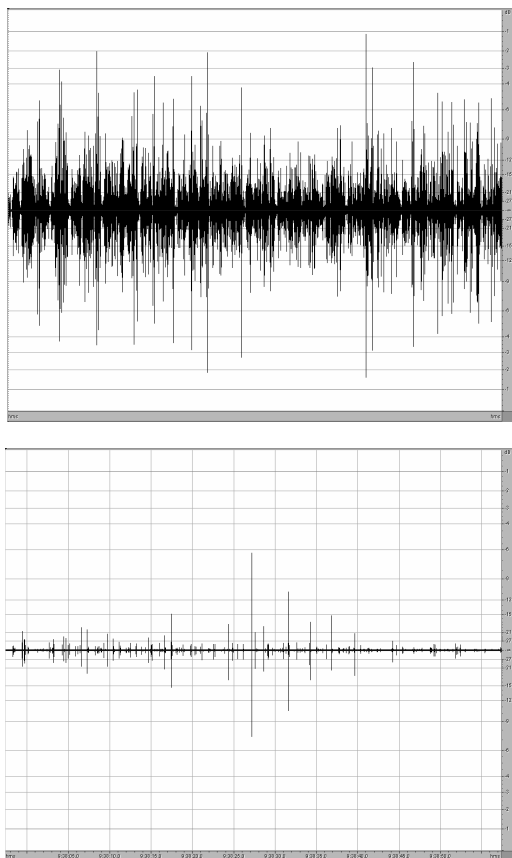
Szczegółowy wykaz sprzętu pomiarowego przedstawiono poniżej:

- czujnik przyspieszenia - Bruel & Kjaer, typ 4332,
- przedwzmacniacz ładunkowy specjalizowany do wzmacniania sygnałów z czujników przyspieszeń - Bruel & Kjaer, typ 2625, wbudowany w miernik wartości szczytowej drgań MWS-D 1000,
- wzmacniacz pomiarowy - Bruel & Kjaer, typ 2608,
- transformator separujący - Bruel & Kjaer, typ TI 0001,
- karta dźwiękowa zgodna z Sound Blaster, komputer klasy PC.

### 3. Wyniki rejestracji

Wstępne badania przeprowadzono na pięciu klockach z bielu sosny, zawierających po jednej, wyrosniętej larwie spuszczela pospolitego (*Hylotrupes bajulus* L.). Masy larw wynosiły od 8,8 do 187,9 mg. Rejestrację sygnałów akustycznych przeprowadzono w zaimprovizowanej "komorze cizy". Klocki drewniane umieszczone były w szklanym eksykatorze, umieszczonym na specjalnie zbudowanym ustroju mechanicznym mającym za zadanie jak najlepsze wytłumienie drgań z podłoża i otoczenia. Sygnały rejestrowano w temperaturze pokojowej, ok. 25°C, przy względnej wilgotności powietrza ok. 40%.

Przykładowe przebiegi zarejestrowane dla jednego z klocków przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zarejestrowane sygnały aktywności pojedynczej larwy: dla 24 godzin (góra) i 1 minuty (dół)

Fig. 2. Registered signals for single larvae activity: for 24 hours (top) and 1 minute (bottom)

Przeprowadzone badania wstępne wykazały możliwość rejestracji elektroakustycznych efektów żerowania wyrosniętych larw spuszczela pospolitego. Aktywność akustyczna, zwłaszcza najbardziej rosnącego osobnika, była nawet słyszana bezpośrednio, tzn. "na ucho".

Rejestrowane odgłosy żerujących larw mają charakter impulsowy. Impulsy odpowiadają charakterystycznym "chrupnięciom", czyli odgłosom pęknięcia włókien drewna pod wpływem pracy aparatu gębowego żerującej larwy. Często "chrupnięcie" składa się z kilku impulsów, odległych od siebie o pojedyncze milisekundy w zależności od tego, czy jednocześnie następuje pęknięcie jednego, czy też wielu włókien (najprawdopodobniej jest to uzależnione od wielkości larwy oraz jej aktualnego położenia względem włókien). Impulsy ("chrupnięcia") występują w seriach kilku (3 - 5) co około 0,3 - 0,8 sekundy (zależnie od próbki). Serie występują w odstępach czasowych około kilkanaście sekund. Dość regularnie pojawiają się też dłuższe okresy całkowitego braku aktywności trwające około 30 minut. Dynamika rejestrowanych impulsów dla wybranego klocka wynosiła około 20 dB, a odstęp maksymalnego poziomu rejestrowanych impulsów od poziomu szumu aparatury pomiarowej (*noise floor*) wahał się w granicach od 15 do 30 dB i zależał głównie od wielkości larwy, czyli amplitudy pierwotnego pobudzenia klocka. Do rejestrowanego sygnału dodawały się, poza szumem aparatury pomiarowej, sygnały mechanoakustyczne, przenoszone do klocka zarówno drogą powietrzną (pobudzenie klocka falą akustyczną), jak i poprzez przenoszenie drgań z podłoża do klocka za pośrednictwem zastosowanego zawieszenia sejsmicznego (bezwładnościowego). Jednakże, ze względu na izolacyjne właściwości laboratoryjnego systemu pomiarowego sygnały te miały charakter niskoczęstotliwościowy i pomimo dużych amplitud były stosunkowo łatwo odróżnialne od impulsów generowanych przez owady. Sygnały pomiarowe były także zakłócone pojedynczymi impulsami pochodzącymi z sieci energetycznej, które mogły być mylone z "chrupnięciami" larw oraz quasiokresowymi sygnałami szerokopasmowymi pochodzącymi z aktywności pobliskich telefonów komórkowych, łatwymi do rozpoznania i odrzucenia.

### 4. Analiza zarejestrowanych sygnałów

Kolejny etap prac polegał na opracowaniu oraz implementacji oprogramowania służącego do analizy zarejestrowanych sygnałów i dającego wyniki pozwalające stwierdzić, czy drewno zawiera aktywne larwy oraz oszacować ich liczebność.

Potrzeba takiej analizy wynika przede wszystkim z czasochłonności i niejednoznaczności słuchowej oceny subiektywnej zarejestrowanych sygnałów. Analiza słuchowa zarejestrowanych, 24-godzinnych próbek sygnału, polegająca na zliczaniu charakterystycznych odgłosów żerowania larw jest na większą skalę niewykonalna. Ponadto składowanie i ręczna obróbka zarejestrowanych plików, ze względu na ich dużą objętość (prawie 4 GB dla zapisu 24-ro godzinnego) są bardzo uciążliwe. Odpowiednie oprogramowanie umożliwiłoby automatyczne zliczenie wytwarzanych przez larwy impulsów, wykonanie podstawowych analiz statystycznych i uzyskanie wyników w żądanej postaci. Wynikiem może być np. zapis wszystkich chwil czasowych, w których występuje "chrupnięcie". Na ich podstawie można przeprowadzić dowolne analizy czasowe, otrzymując liczbę "chrupnięć" w określonej jednostce czasu lub wynik szacujący wprost liczebność larw w danej próbce drewna.

Na podstawie analizy subiektywnej zarejestrowanych sygnałów opracowano następujące założenia dla aplikacji:

- sygnały powinny zostać wstępnie przetworzone w celu wyeliminowania zakłóceń pochodzących z otoczenia,
- zliczeniu powinny podlegać jedynie te impulsy, które mają odpowiednią amplitudę, charakter i są odpowiednio

rozdzielone w czasie (w celu pojedynczego zliczenia w sytuacji, gdy pęka wiele włókien naraz),

- dla każdego zliczonego impulsu należy zapamiętać chwilę czasową, w której on wystąpił,
- dla trybu analizy wielu plików jednocześnie należy wygenerować odpowiednie wyniki zbiorcze.

Aplikację zaimplementowano na platformie Java 2 SE w wersji 5.0. Do obróbki plików dźwiękowych w formacie WAVE wykorzystano funkcje ze standardowego pakietu Java Sound.

Operacje wstępnego przetwarzania zrealizowano w programie CoolEdit. Składały się na nie:

- filtracja górnoprzepustowa o następujących parametrach:
  - częstotliwość odcięcia: 500 Hz,
  - tłumienie w paśmie zaporowym: -50 dB,
  - FFT o rozmiarze 8192 i oknie Blackmana;
- statyczna bramka szumowa o następujących parametrach:
  - liniowa charakterystyka powyżej progu -50 dB,
  - tłumienie 100 dB poniżej progu -50 dB.

Zasada zliczania "chrupnięć" jest bardzo prosta. Analizowany sygnał dzielony jest na okna o odpowiedniej szerokości, impuls jest wykrywany, gdy stosunek energii sygnału w oknie do energii sygnału maksymalnego przekroczy określony próg. W celu eliminacji wielokrotnego zliczania impulsów należących do tego samego "chrupnięcia" po wykryciu i zliczeniu impulsu, następuje przesunięcie okna analizy o całkowitą wielokrotność szerokości pojedynczego okna. Parametry, takie jak szerokość okna, próg detekcji i liczba pomijanych okien analizy stanowią podstawowe parametry konfiguracyjne aplikacji.

## 5. Wyniki analizy

Wyniki przeprowadzonych analiz zapisywane są w dwojaki sposób.

### Wyniki dla każdej próbki

Dla każdego analizowanego zapisu (pliku) generowany jest plik zawierający zapis chwil czasowych, w których występowały "chrupnięcia". Ściślej biorąc, jest to zapis czasów pomiędzy kolejnymi zdarzeniami. Plik jest zapisany w katalogu wskazanym przez odpowiedni parametr konfiguracyjny ma nazwę taką samą, jak nazwa pliku wejściowego i rozszerzenie ".dat". Dodatkowo w nagłówku pliku zamieszczono podstawowe informacje, takie jak nazwa pliku, data analizy, wartości parametrów konfiguracyjnych, liczbę wszystkich zdarzeń, czas trwania zapisu i średnią liczbę zdarzeń występujących w czasie jednej minuty. Fragment pliku wyników przedstawiono poniżej.

Taki zapis wyników umożliwił jego dalszą analizę zarówno za pomocą standardowych pakietów obróbki danych, jak i za pomocą specjalnie opracowanej do tego celu aplikacji. Na podstawie tak zapisanych wyników można wykonać dowolne analizy czasowe, np. wyznaczyć obszary aktywności i braku aktywności larwy (larw).

### Wyniki zbiorcze.

Dla wszystkich analizowanych zapisów (wszystkich plików z rozszerzeniem ".wav" z katalogu wskazanego w opcjach konfiguracyjnych) tworzona jest tablica, zawierająca dla każdej próbki liczbę zarejestrowanych zdarzeń, czas trwania próbki i średnią liczbę zdarzeń w jednej minucie. Plik jest zapisywany w katalogu wskazanym przez odpowiedni parametr konfiguracyjny i ma nazwę zgodną z wartością odpowiedniego parametru konfiguracyjnego. Plik nie jest nadpisywany przy kolejnych uruchomieniach aplikacji, więc daje możliwość zebrania w nim wyników z wielu sesji analizy. Dodatkowo w nagłówku każdego zestawu wyników, zamieszczono podstawowe informacje, takie jak data analizy i wartości parametrów konfiguracyjnych.

Poniżej przedstawiono przykładowy plik zawierający wyniki dla pięciu badanych próbek.

```
==== RESULTS BEGIN ====
date Wed Jan 10 14:17:44 CET 2007
window 10
skip 1
threshold 0.0010
fileName allPeaks duration peaksInMinute
1a_1h.wav 1509 3600.0 25.15
2a_1h.wav 1925 3600.0 32.083
3a_1h.wav 1926 3600.0 32.1
4a_1h.wav 363 3600.0 6.05
5a_1h.wav 15 3600.0 0.25
==== RESULTS END====
```

Uzyskane wyniki zostały zweryfikowane poprzez przesłuchanie i przeanalizowanie zapisów dobowych zarejestrowanych sygnałów. Istotnie, dla próbek oznaczonych symbolami 1a, 2a, 3a aktywność żerujących larw jest bardzo wysoka. W ciągu całej doby larwy osadzone w tych próbkach drewna żerowały w cyklach około 30 minutowych, robiąc również około pół godzinne przerwy. W okresach aktywności "chrupnięcia" występowały co około 1 sekundę. Dla próbki oznaczonej symbolem 4a okresy braku aktywności były znacznie dłuższe, natomiast okresy aktywności krótsze. Dla próbki oznaczonej symbolem 5a trudno było zauważyć efekty żerowania.

## 6. Podsumowanie

W referacie przedstawiono wyniki pierwszych w Polsce udanych prób rejestracji efektów elektroakustycznych aktywności wyrosniętych larw spuszczela pospolitego (*Hylotrupes bajulus* L.) w drewnie sosnowym (*Pinus sylvestris* L.). Stwierdzono możliwość rejestracji za pomocą dostępnej aparatury impulsów dźwiękowych, wywołanych żerowaniem wyrosniętych larw spuszczela pospolitego. Wydaje się możliwe wykorzystanie tej metody „podśluchu” w badaniach podstawowych ksylofagicznych owadów oraz w zastosowaniach praktycznych, dla potrzeb remontów budynków i konserwacji zabytków. Opracowane oprogramowanie umożliwia automatyczną ocenę aktywności żerujących larw i może w przyszłości posłużyć do oszacowania liczebności larw w badanej próbce drewna na podstawie zarejestrowanych sygnałów. W pracy uzyskano interesujące rezultaty dające nadzieję na dalszy rozwój elektroakustycznych metod zarówno dla wykrywania zagrożenia szkodnikami w konstrukcjach drewnianych, jak i pozwalających na identyfikację gatunku owadów. Rozwój tego rodzaju metodyki pozwoli na przeprowadzenie badań mających na celu lepsze poznanie zachowania i funkcji życiowych poszczególnych gatunków szkodników, co umożliwi opracowanie nowych metod zabezpieczania drewna oraz tępienia aktywnych szkodników.

## 7. Literatura

- [1] P. Bobiński, A. Krajewski, P. Witomski: Acoustic Properties of Xylophagous Insects Activity, Mat. XX Konferencji Naukowej Wydziału Technologii Drewna SGGW: "Drewno – Materiał XXI wieku", Rogów k/Koluszek, listopad 2006.
- [2] A. Krajewski, T. Narojek, P. Witomski: Dalsze próby wykrywania larw spuszczela pospolitego w drewnie za pomocą tomografii komputerowej, Postępy Techniki Jądrowej, nr 3, 2005.
- [3] A. Krajewski, P. Witomski: Wykrywalność różnych stadiów rozwojowych spuszczela pospolitego na zdjęciach rentgenowskich, Ochrona Przed Korozją, nr 9s/A, 2005.
- [4] A. Krajewski, T. Jakubowska, J. Perkowski, M. Wysocki: Detekcja owadów w drewnie przy dezynsekcji tego materiału za pomocą promieni gamma, Postępy Techniki Jądrowej, nr 4, 2002.