Marcin Michałek

Automatyzacja badania autentyczności cyfrowych nagrań dźwiękowych z wykorzystaniem kryterium ENF

Wstęp

W ciągu ostatnich kilku lat znacznie wzrosła dostępność przenośnych rejestratorów różnych marek, pozwalających na utrwalanie dźwięku w postaci cyfrowej. Z kolei możliwość wykorzystania nagrania jako materiału dowodowego powoduje, że bardzo często zachodzi konieczność zbadania jego autentyczności. Potrzebę taką zauważono już prawie pół wieku temu, czemu dano wyraz w orzeczeniach Sądu Najwyższego w sprawach o sygnaturze I K 196/60 i III K 49/61. Eksperci fonoskopii starają się udzielać odpowiedzi na pytania zawarte w postanowieniach, które bardzo często nawiązują do zbadania autentyczności dowodowego nagrania.

Definicję autentyczności nagrania na potrzeby badań kryminalistycznych przedstawiono w dokumencie Audio Engineering Society (AES) [1]. Zgodnie z jej treścią, za nagranie autentyczne uznaje się takie, które powstało równocześnie z trwaniem rejestrowanego zdarzenia akustycznego, zawiera kompletny jego przebieg i pozbawione jest niewytłumaczalnych zakłóceń, zmian, dodań, usunięć lub też innej edycji. Przytoczona definicja szczególnie podkreśla znaczenie integralności (ciągłości) nagrania oraz jego rejestracji równocześnie z trwaniem przedmiotowego zdarzenia.

Badania autentyczności nagrań analogowych bazują przede wszystkim na analizie charakterystycznych śladów magnetycznych, związanych na przykład z uruchomieniem czy też zakończeniem nagrywania. Ślady te pochodzą od głowic magnetycznych, w które wyposażone są rejestratory analogowe [4, 5]. Rejestracja w postaci cyfrowej opiera się na nieco innych technikach. Jedną z coraz powszechniej wykorzystywanych metod w badaniach autentyczności nagrań cyfrowych jest *Electric Network Frequency* (ENF) *Criterion* [6]. Polega ona na analizie zawartego w nagraniu sygnału, który może zostać utrwalony w trakcie rejestracji przedmiotowego zdarzenia, a jego charakterystyka częstotliwościowa odpowiada zmianom częstotliwości prądu w sieci elektroenergetycznej. Jeśli w nagraniu cyfrowym utrwalono taki sygnał, zwany również przydźwiękiem sieciowym, możliwa staje się jego ekstrakcja, analiza i porównanie ze zgromadzoną bazą referencyjną ENF w celu weryfikacji daty i czasu rejestracji nagrania. Na tej podstawie możliwe jest również ustalenie ewentualnych braków ciągłości zapisu [6, 8, 9]. Zarejestrowanie przydźwięku możliwe jest również w nagraniach analogowych, jednak ze względu na zmieniającą się w czasie prędkość przesuwu taśmy, powodującą wahania częstotliwości utrwalanych sygnałów, kryterium ENF nie jest stosowane. Do rejestracji dowodowych nagrań wykorzystuje się często niewielkich rozmiarów przenośne dyktafony cyfrowe, które podczas nagrywania przeważnie zakamuflowane są np. w odzieży jednego z rozmówców. Zasilane są za pomocą baterii, gdyż trudno sobie wyobrazić, aby w takiej sytuacji osoba dokonująca rejestracji poszukiwała z zasilaczem oplecionym kablami najbliższego gniazdka sieciowego z napięciem 230 V. Jak wykazano, nawet przy wykorzystaniu zasilania bateryjnego rejestratory cyfrowe są w stanie utrwalać w swoich nagraniach sygnał ENF, którego analiza pozwala ustalić, kiedy nagranie zostało zarejestrowane [8, 9]. Metoda badania autentyczności cyfrowych nagrań dźwiękowych za pomocą kryterium ENF znana jest już ekspertom w naszym kraju [2, 8]. Nowością przedstawioną w niniejszej pracy jest automatyzacja badania oraz dodatkowo oszacowanie minimalnych wymagań, jakie musi spełniać sygnał ENF, w celu uzyskania wiarygodnych wyników.

Częstotliwość w sieci elektroenergetycznej i jej znaczenie w analizie nagrań cyfrowych

Ciągłe zmiany częstotliwości prądu w sieci elektroenergetycznej spowodowane są różnicą pomiędzy energią wytwarzaną a jej bieżącym zapotrzebowaniem. Z kolei częstotliwość to najistotniejszy parametr systemów elektroenergetycznych pracujących synchronicznie. Obecnie na terenie Europy operatorzy tych systemów zrzeszeni są w *European Network of Transmission System Operators for Electricity* (ENTSO-E), przy czym część z nich przed 1 lipca 2009 roku należała do *Union for the Coordination of Transmission of Electricity* (UCTE). Wartość zadanej częstotliwości prądu wynosi 50 Hz, przy czym chwilowa odchyłka od tej częstotliwości nie powinna prze-

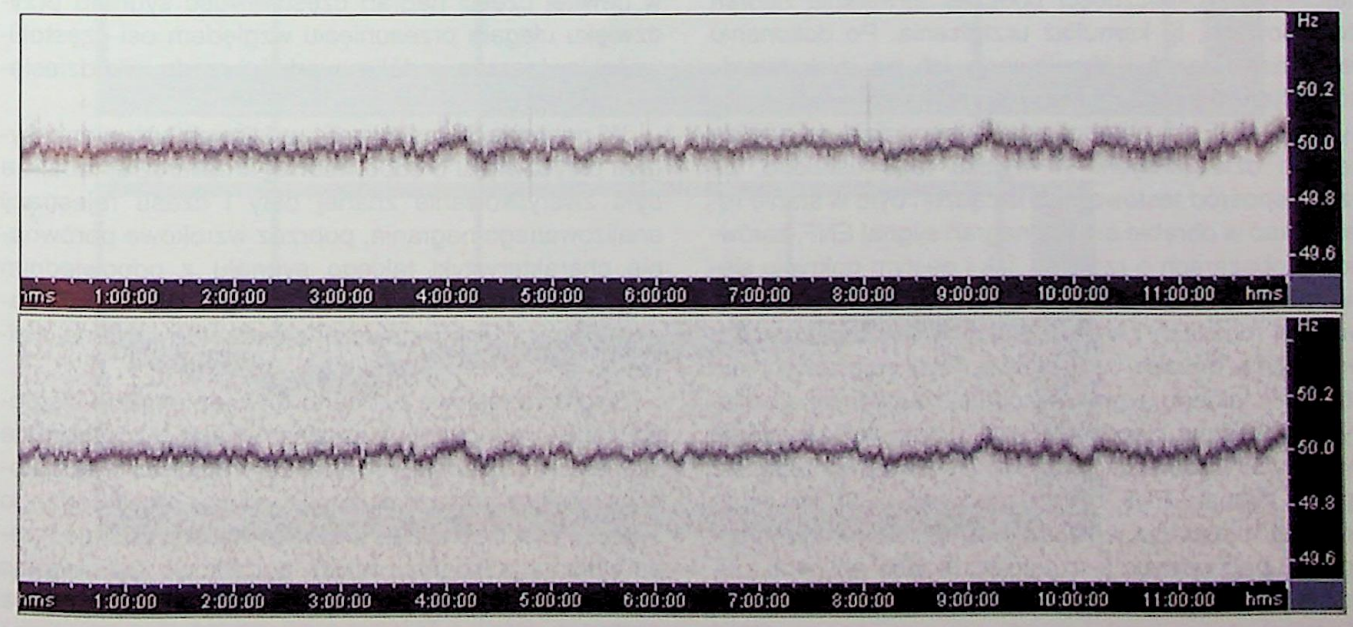
kroczyć ±150 mHz, gdyż wtedy warunki pracy systemu uznaje się za mocno zakłócone, ale jeszcze możliwe do skorygowania [3]. Opisując chwilowe wartości częstotliwości prądu w sieci elektroenergetycznej, można przyjąć, że $F_i = F_0 \pm \Delta F$ [Hz], gdzie F_i to chwilowa wartość częstotliwości prądu w sieci elektroenergetycznej, F_0 to wartość częstotliwości zadanej, a ΔF to odchyłka od F_0. Lokalni operatorzy na bieżąco kontrolują pracę systemów elektroenergetycznych, monitorując chwilowe wartości częstotliwości, aby w przypadku dużych odchyłek podejmować odpowiednie działania korygujące, które zapobiegną rozsynchronizowaniu się sieci [3, 10].

Dwa podstawowe założenia ENF *Criterion* mówią o tym, że chwilowe wartości częstotliwości w połączonych sieciach elektroenergetycznych są takie same, a zarejestrowane zmiany są unikalne dla dłuższych okresów [6]. Na potrzeby badań możliwa jest ciągła rejestracja nagrań referencyjnych zawierających sygnał przydźwięku, obliczanie jego chwilowych częstotliwości i gromadzenie tych wartości w referencyjnej bazie danych ENF. Jeśli w analizowanym nagraniu cyfrowym ujawniony zostanie sygnał ENF, można obliczyć jego chwilowe częstotliwości i porównać z danymi zgromadzonymi w bazie referencyjnej. W całym połączonym systemie elektroenergetycznym pracującym synchronicznie częstotliwość prądu jest taka sama. Zakładając, że wraz z danymi o zmianach częstotliwości w referencyjnej bazie ENF zapisujemy informację o tym, kiedy zostały one zarejestrowane, możemy ustalić datę i czas rejestracji analizowanego nagrania i zweryfikować, czy nie było poddane edycji, polegającej na przykład na usunięciu jakiegoś fragmentu lub montażu z innym nagraniem. W dalszej części artykułu określono m.in. kryteria, jakie musi spełniać sygnał ENF, aby na jego podstawie można było automatycznie zweryfikować czas rejestracji i dokonać analizy ciągłości zapisu nagrania.

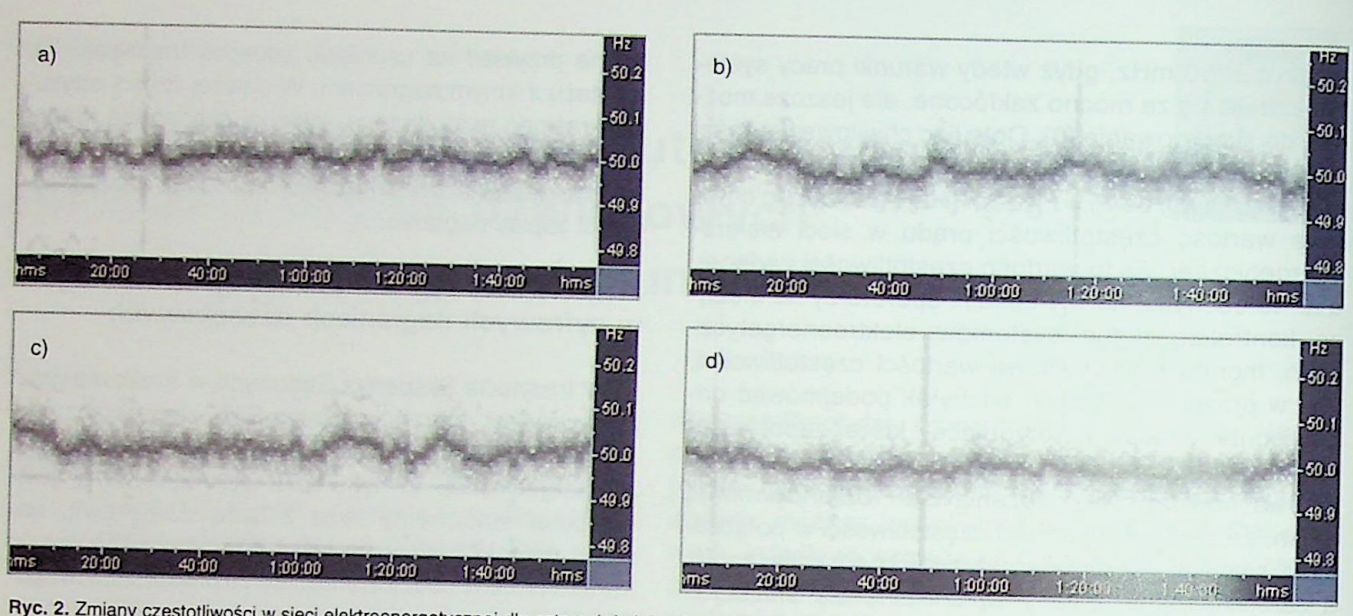
Właściwości sygnału ENF zarejestrowanego w cyfrowych nagraniach dźwiękowych

W Instytucie Ekspertyz Sądowych w Krakowie gromadzona jest referencyjna baza ENF, zawierająca obliczone chwilowe wartości częstotliwości w sieci elektroenergetycznej. W tym celu wykorzystywany jest komputer stacjonarny wraz z kartą dźwiękową, na której wejście podawane jest napięcie przemienne z transformatora podłączonego do zasilania sieciowego 230 V. Za pomocą oprogramowania umożliwiającego rejestrację nagrań dźwiękowych na dysku twardym komputera zapisywane są nagrania referencyjne w plikach formatu PCM *.wav [7]. Na tej podstawie obliczane są i zapisywane do plików wartości częstotliwości prądu w sieci elektroenergetycznej wraz z informacją o dacie i czasie rejestracji.

Na podstawie zgromadzonych danych zweryfikowano założenia ENF *Criterion*. Na rycinie 1 przedstawiono spektrogramy ze zmianami częstotliwości dla okresu 12 godzin z dwóch nagrań rejestrowanych jednocześnie w różnych miastach na terenie Polski. Z kolei na rycinie 2 zaprezentowano spektrogramy fragmentów nagrań referencyjnych zarejestrowanych w ciągu czterech kolejnych dni tygodnia. Na podstawie zdecy-



Ryc. 1. Zmiany częstotliwości w sieci elektroenergetycznej w ciągu 12 godzin. Jak widać, są one identyczne dla dwóch różnych lokalizacji.
Fig. 1. *ENF variations within 12 hours. As it can be seen they are identical in two different locations.*
źródło (ryc. 1–5): autor



Ryc. 2. Zmiany częstotliwości w sieci elektroenergetycznej dla czterech kolejnych dni na podstawie dwugodzinnych fragmentów nagrań referencyjnych, tj. od godziny 9:00 do 11:00

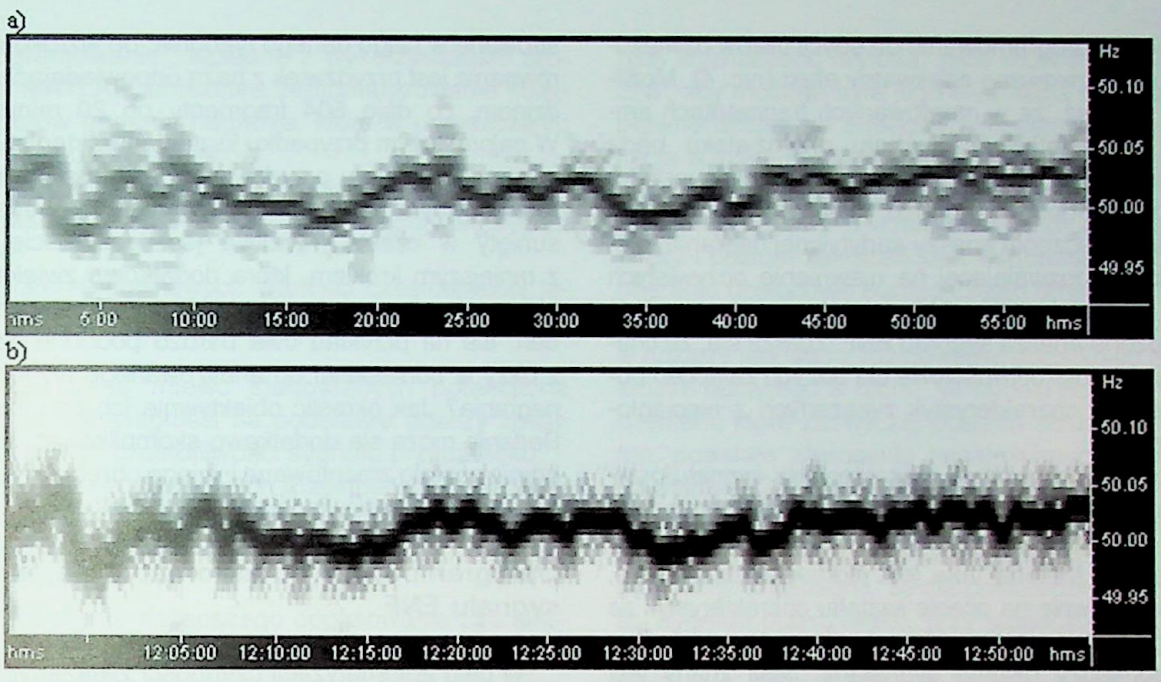
Fig. 2. *ENF variations within 4 consecutive days observed in two-hour-long referential recordings (9:00–11:00)*

dowanych różnic przedstawionych przebiegów można potwierdzić przypadkowość zmian częstotliwości w sieci elektroenergetycznej.

Oprócz gromadzenia bazy referencyjnej wykonano szereg nagrań testowych za pomocą popularnych rejestratorów cyfrowych, m.in. firmy Sony, Olympus i Panasonic. Wszystkie rejestratory podczas testów zasilane były za pomocą baterii i wykorzystano dostępne tryby nagrywania, co wiązało się z różną jakością zapisów. Rejestrując niektóre nagrania testowe, zasymulowano najczęstsze okoliczności podczas utrwalania nagrań dowodowych, tj. kamuflaż urządzenia. Po dokonaniu rejestracji nagrań i skopiowaniu ich na dysk twardy komputera przeanalizowano je pod kątem właściwości sygnału ENF za pomocą oprogramowania do analizy nagrań dźwiękowych. W wyniku tego ustalono, że sześć spośród testowanych urządzeń było w stanie rejestrować w obrębie swoich nagrań sygnał ENF, zarówno na obszarach o rzadkim, jak i gęstym pokryciu siecią elektroenergetyczną (nagrania rejestrowano bowiem w miastach i na obszarach wiejskich) oraz przy wszystkich trybach nagrywania. Trzy rejestratory nie utrwalały takiego sygnału w ogóle, na żadnym z badanych obszarów geograficznych i przy wykorzystaniu możliwych trybów nagrywania. Ustalono ponadto, że oprócz sygnału ENF, oscylującego wokół 50 Hz, możliwa jest rejestracja jego tzw. harmonicznych, czyli sygnałów pochodnych o częstotliwościach równych całkowitej wielokrotności częstotliwości podstawowej. Skutkiem tego w niektórych nagraniach zauważyć można przebiegi o charakterystyce odpowiadającej sygnałowi ENF w pobliżu 100 i 150 Hz. Harmoniczne pochodzące od ENF widoczne są też i w wyższych częstotliwościach, jednak w tych zakresach są już często mocno zakłócone, gdyż zbieżne są np. z częstotliwościami sygnału mowy. W niektórych nagraniach testowych sygnał ENF odznaczał się bardzo małą amplitudą, co praktycznie uniemożliwiało jego analizę, podczas gdy amplituda jego drugiej harmonicznej, tj. wokół 100 Hz, była bardzo duża. Ustalono, że częstotliwości harmoniczne mogą być zastosowane do weryfikacji czasu rejestracji nagrania. Zauważono również, że w pewnej części nagrań częstotliwość sygnału przydźwięku ulegała przesunięciu względem osi częstotliwości, zwłaszcza w dół, o wartości rzędu kilkudziesięciu mHz [8, 9].

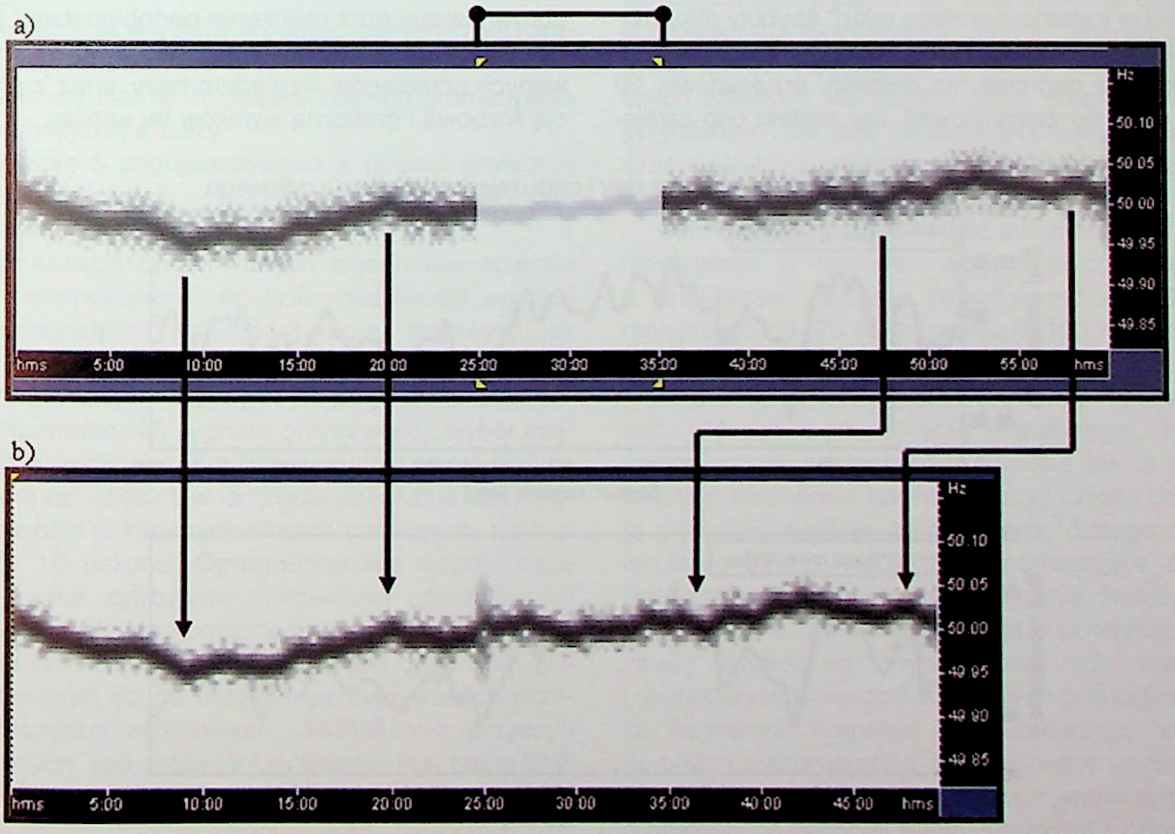
W nagraniach testowych, w których utrwalono sygnał przydźwięku o odpowiedniej amplitudzie, możliwe było zweryfikowanie znanej daty i czasu rejestracji analizowanego nagrania, poprzez wzrokowe porównanie charakterystyki takiego sygnału z odpowiednim fragmentem nagrania referencyjnego. Wynik przykładowej analizy porównawczej zaprezentowano na rycinie 3.

Nagrania testowe poddano również analizie ciągłości zapisu, w oparciu o zarejestrowany w ich obrębie sygnał ENF. Zaobserwowano, że w miejscu nieciągłości, powstałej przy użyciu funkcji pauzy, amplituda tego sygnału znacznie spada w bardzo wąskim paśmie (rzędu kilku lub kilkunastu mHz), dodatkowo rozmywając się na sąsiednie częstotliwości. Widoczne jest to na spektrogramie w postaci charakterystycznych pionowych pików. W przypadku montażu zapisu, na przykład poprzez sklejenie kilku nagrań lub usunięcie jakiejś je-



Ryc. 3. Spektrogramy sygnału ENF z nagrania testowego (a) i nagrania referencyjnego (b). Nagranie testowe wykonano 2 października 2008 roku między godziną 11:56 a 12:55

Fig. 3. *ENF spectrograms from test recording (a) and referential recording (b). Test recording made on 2 October, 2008, from 11:56 to 12:55*



Ryc. 4. Zobrazowanie nieciągłości w nagraniu z utrwalonym sygnałem ENF. Z nagrania pierwotnego (a) usunięto dziesięciominutowy fragment pomiędzy 25 a 35 minutą, po czym zapisano zmiany. W miejscu powstania nieciągłości widoczny jest charakterystyczny pionowy pik (b), a ponadto przesunięciu w lewo uległa część charakterystyki sygnału ENF w stosunku do nagrania pierwotnego.

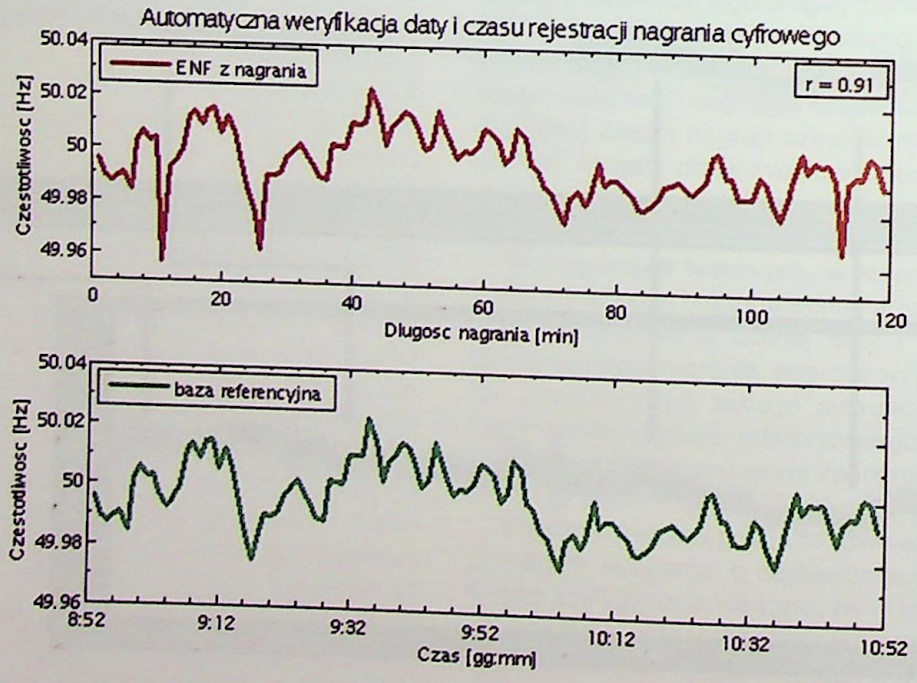
Fig. 4. *Demonstrated discontinuities in recording including ENF signal. From original recording (a) 10 minute fragment was removed between minute 25 and 35. Characteristic steep peak (b) is visible over the discontinuity and there is a shift of ENF signal characteristics as compared to the original recording.*

go części w oprogramowaniu do edycji plików dźwiękowych, zaobserwowano adekwatny efekt (ryc. 4). Możliwe jest również, że w montowanych fragmentach amplituda i częstotliwość sygnału przydźwięku będą znacznie się różnić. Na tej podstawie możliwa jest detekcja nieciągłości w nagraniu. Należy w tym miejscu podkreślić znaczenie analizy audytywnej nagrania, niejednokrotnie pozwalającej na ujawnienie oczywistych braków ciągłości zapisu, które następnie mogą zostać potwierdzone analizą sygnału ENF. Zdarza się, że charakterystyki częstotliwościowe dla dużych zakłóceń podobne są do charakterystyk związanych z nieciągłościami zapisu.

Wzrokowe porównanie charakterystyk sygnału przydźwięku z nagrań testowych z kolejnymi fragmentami nagrań referencyjnych pozwalało na weryfikację, kiedy je utrwalono. Metoda taka jest jednak bardzo prosta, opiera się głównie na ocenie kształtu charakterystyk ze spektrogramów i nie pozwala oszacować chociażby korelacji pomiędzy dwoma sygnałami. Jeśli znany jest przybliżony czas rejestracji nagrania, można taką metodą w niedługim czasie zweryfikować, kiedy nagranie powstało. Co jednak, gdy wiadomo tylko tyle, że nagranie zarejestrowano np. w minionym tygodniu lub najprawdopodobniej w kwietniu zeszłego roku? Atrybuty pliku mogą nie wskazywać rzeczywistej daty jego utworzenia. Jeśli dowodowe nagranie ma długość, przykładowo, 20 minut i chce się zweryfikować, czy zostało ono zarejestrowane w ciągu danego tygodnia, do wzrokowego porównania jest przydźwięk z bazą odpowiadającą 168 godzinom, co daje 504 fragmenty po 20 minut każdy. W najprostszym przypadku kształt charakterystyki analizowanego sygnału przydźwięku pokryje się z kolejnym referencyjnym fragmentem w całości i nie będzie przesunięty w czasie. Możliwa jest oczywiście analiza z mniejszym krokiem, która dodatkowo zwiększy ilość elementów do porównania. A jeśli uda się znaleźć nie jeden, ale na przykład dwa bardzo podobne fragmenty z bazy w odniesieniu do analizowanego przydźwięku z nagrania? Jak określić obiektywnie ich podobieństwo? Badanie może się dodatkowo skomplikować, kiedy nagranie zostało zmontowane i w jego obrębie znajdują się sygnały ENF odpowiadające różnym okresom.

Oprogramowanie do automatycznej analizy sygnału ENF

W celu automatyzacji czynności związanych z analizą nagrań z wykorzystaniem ENF *Criterion* stworzono oprogramowanie oparte na optymalnych algorytmach i dedykowane do cyfrowych nagrań dźwiękowych. Ma ono na celu przede wszystkim przyspieszenie analizy porównawczej oraz obliczenie podobieństwa i podanie zakresu czasu z najlepszym dopasowaniem porównywanych przebiegów względem bazy, wraz z prezentacją liczbową i graficzną wyników tej analizy.



Ryc. 5. Graficzna prezentacja wyniku weryfikacji daty i czasu rejestracji nagrania cyfrowego. W części a) przedstawiono obliczone dominujące częstotliwości sygnału ENF z badanego nagrania, zaś w części b) z nagrania referencyjnego. Dodatkowo, w części a) podano współczynnik korelacji r dwóch zaprezentowanych przebiegów.

Fig. 5. *Graphic representation of the result of date and time verification in digital recording; a): calculated frequencies dominating in ENF in questioned recording; b): in referential recording. Additionally, correlation coefficient r for both plots is given in a).*

Oprogramowanie, napisane z wykorzystaniem środowiska MATLAB, umożliwia zautomatyzowanie kolejnych etapów badania nagrania, które w uproszczeniu można opisać następująco:

- ustalenie parametrów nagrania;
- określenie, czy w jego obrębie znajduje się sygnał ENF;
- obliczenie chwilowych wartości częstotliwości tego sygnału oraz podstawowych wielkości statystycznych;
- wyznaczenie miejsc stanowiących potencjalne miejsca nieciągłości na podstawie analizy zmian amplitudy i częstotliwości sygnału przydźwięku;
- porównanie chwilowych częstotliwości sygnału przydźwięku z nagrania z kolejnymi fragmentami referencyjnej bazy ENF oraz obliczenie ich korelacji;
- wyznaczenie najlepszego dopasowania charakterystyki analizowanego sygnału ENF z danym fragmentem bazy referencyjnej na podstawie największej korelacji;
- ustalenie dnia oraz godziny i minuty początku i końca w bazie referencyjnej dla tego dopasowania;
- prezentacja wyników w postaci numerycznej i graficznej;
- zapis rezultatów do pliku w celu ich gromadzenia i późniejszej analizy.

Na rycinie 5 zaprezentowano w postaci graficznej wynik weryfikacji daty i czasu rejestracji nagrania cyfrowego, w którym utrwalono sygnał ENF.

Optymalizacja opracowanych algorytmów opierała się na obserwacjach i analizie właściwości sygnału ENF, pochodzących zarówno z nagrań testowych, jak i bazy referencyjnej. Za pomocą skonstruowanego oprogramowania możliwa jest na przykład analiza dowolnej harmonicznej sygnału przydźwięku, wybór częstotliwości środkowej filtra (dla sygnałów przesuniętych względem osi częstotliwości) oraz obliczanie kolejnych częstotliwości w zadanych oknach czasowych, typowo od 1 do 10 sekund. Oprogramowanie współpracuje z nagraniami cyfrowymi o dowolnej częstotliwości próbkowania. Za jego pomocą analizowane są również nagrania referencyjne i budowana jest baza ENF. Nie ma ograniczeń co do długości porównywanych przebiegów częstotliwościowych. Jednakże z przyczyn praktycznych, częstotliwości referencyjne w bazie ENF zapisywane są w plikach odpowiadających kolejnej dobie.

Oszacowanie kryteriów dla sygnału ENF

Za pomocą stworzonego oprogramowania przeprowadzono szereg obliczeń i analiz, na podstawie których wyznaczono kryteria, jakie musi spełniać sygnał ENF, aby możliwa była jego ekstrakcja z nagrania, poprawne obliczenie chwilowych częstotliwości i weryfikacja względem referencyjnej bazy ENF. Ustalono, że najważniejszymi właściwościami odnoszącymi się do sygnału przydźwięku w nagraniu są: długość jego rejestracji i poziom zakłóceń. Jak wspomniano wcześniej, nagrania dowodowe bardzo często utrwalane są w sytuacjach, w których rejestrator zakamuflowany jest np. w odzieży jednego z rozmówców, dodatkowo niejednokrotnie będącego w ruchu. W wyniku poruszania urządzeniem, które zazwyczaj posiada wbudowany mikrofon, powstają zakłócenia rejestrowanych z otoczenia dźwięków. Częstotliwości tych zakłóceń, zwłaszcza o charakterze impulsowym, często pokrywają się nie tylko z mową, ale również z sygnałem ENF i jego harmonicznymi. Ustalono, że dla dostatecznie dobrej jakości sygnału przydźwięku, przy stosunku SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) większego niż 0 dB w paśmie 0–100 Hz, minimalna długość nagrania z ciągłym przydźwiękiem pozwalającym na poprawną weryfikację względem bazy wynosi 2 minuty. Gdy poziom zakłóceń wzrasta, przydźwięk musi charakteryzować się dłuższym czasem rejestracji, a zatem nagranie musi być dłuższe. W przypadku gdy SNR wynosi -25 dB, nagranie powinno trwać już co najmniej 15 minut. W przypadku większych zakłóceń lub bardzo małej amplitudy sygnału przydźwięku nie jest możliwa poprawna weryfikacja czasu rejestracji nagrania przy zastosowaniu kryterium ENF.

Ustalono, że na poprawność automatycznej detekcji nieciągłości w nagraniu wpływa poziom zakłóceń, a prawidłowe rezultaty otrzymywano dla SNR nie mniejszego niż -20 dB w paśmie 0–100 Hz. Poniżej tej wartości szybko rośnie liczba fałszywie wyznaczonych nieciągłości, co ma związek z intensywnością zakłóceń, głównie o charakterze impulsowym, które na spektrogramie przypominają pionowe piki z ryciny 4. Niestety, dowodowe nagrania dosyć często odznaczają się takimi właśnie zakłóceniami, dlatego algorytm ten stanowi raczej narzędzie wspomagające, a nie decydujące w badaniu ciągłości nagrania. Należy mocno podkreślić, że ostateczna decyzja w powyższej kwestii zależy również od innych analiz, m.in. audytywnej i charakterystyk częstotliwościowych pod kątem ciągłości nagranych sygnałów. Podsumowując, optymalne do badań autentyczności cyfrowe nagranie dźwiękowe to takie, w obrębie którego zarejestrowano sygnał ENF o długości co najmniej kilkunastu minut z odpowiednio dużą amplitudą i bez większych zakłóceń. Z doświadczenia wynika jednak, że analizowane nagrania często nie zawierają takiego sygnału lub jego parametry nie pozwalają na wykonanie badań autentyczności z wykorzystaniem kryterium ENF.

Podsumowanie

W niniejszej pracy wykazano, że możliwe jest zautomatyzowanie czynności związanych z analizą sygnału ENF i weryfikacją, kiedy badane nagranie zostało zarejestrowane. Metodę tę wykorzystać można również do analizy ciągłości nagrania. Zastosowanie skonstruowanego oprogramowania zastępuje czasochłonną metodę wizualnego porównywania charakterystyki sygnału przydźwięku wyświetlanego na spektrogramie z kolejnymi fragmentami nagrań referencyjnych. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla poprawnej weryfikacji czasu rejestracji nagrania i analizy jego ciągłości istotny jest poziom zakłóceń i długość utrwalonego sygnału przydźwięku. W nagraniach zarejestrowanych za pomocą przenośnych urządzeń zasilanych bateryjnie możliwe jest utrwalenie zarówno sygnału ENF, jak i jego harmonicznych o amplitudzie wystarczającej do przeprowadzenia badania autentyczności nagrań. Ustalono, że niektóre typy urządzeń są w stanie rejestrować sygnał przydźwięku niezależnie od jakości zapisu, niektóre zaś nie umożliwiają jego rejestracji w ogóle. Zaobserwowano ponadto, że możliwe jest przesunięcie rzeczywistych wartości częstotliwości sygnału przydźwięku względem osi częstotliwości. Zaprezentowane w niniejszej pracy oprogramowanie może wykorzystywać bazę referencyjną gromadzoną na komputerze z kartą dźwiękową, pozwala również na współpracę z danymi pozyskanymi od operatora sieci elektroenergetycznej.

BIBLIOGRAFIA

1. AES, Recommended Practice for Forensic Purposes – Managing Recorded Audio Materials Intended for Examination, AES27-1996.

2. **Biernacka I.**, **Korycki R.**, **Rzeszotarski J.**: Analiza wahań częstotliwości prądu sieciowego w badaniach autentyczności nagrań cyfrowych, „Problemy Kryminalistyki" 2007, nr 258, s. 36.

3. **Biernacka I.**, **Radzio I.**: Supervision of the Application of Rules concerning Primary and Secondary Control of Frequency in the Interconnected Power Systems UCTE/CENTREL, Present-day Problems of Power Engineering Conference APE'99, Gdańsk, Jurata, June 6-8, 2001.

4. **Boss D.**, **Gfroerer S.**, **Neoustroev N.**: A New Tool for the Visualisation of Magnetic Features on Audiotapes, The International Journal of Speech Language and the Law, Forensic Linguistics 2003, vol. 110, no. 2, p. 255.

5. **Dean D.J.**: The Relevance of Replay Transients in the Forensic Examination of Analogue Magnetic Tape Recordings, Scientific Research and Development Branch, Home Office, British Government, London 1991, no. 16.

6. **Grigoras C.**: Digital audio recording analysis: The Electric Network Frequency (ENF) Criterion, International Journal of Speech, Language and the Law 2005, vol. 12, no. 1, p. 64.

7. **Grigoras C.**, **Cooper A.**, **Michałek M.**: Forensic Speech and Audio Analysis Working Group – Best Practice Guidelines for ENF Analysis in Forensic Authentication of Digital Evidence, ENFSI – FSAAWG 2009.

8. **Kajstura M.**, **Trawińska A.**, **Hebenstreit J.**: Application of the electrical network frequency (ENF) criterion. A case of a digital recording, Forensic Science International 2005, vol. 155, issue 2, p. 165.

9. **Michałek M.**: The Electrical Network Frequency Signal in Automatic Audio Recording Analysis, Materiały 10th Meeting of the ENFSI Working Group for Forensic Speech and Audio Analysis, Bratislava, Slovakia, September 11–12, 2008.

10. Ground rules concerning primary and secondary control of frequency and active power within the UCPTE, UCPTE 1998.

Streszczenie

Celem pracy było zaprezentowanie oprogramowania wspomagającego pracę eksperta w zakresie badania autentyczności cyfrowych nagrań dźwiękowych, wykorzystując założenia Electric Network Frequency *(ENF)* Criterion. *W metodzie tej analizie poddaje się zarejestrowany w nagraniu sygnał odpowiadający zmianom częstotliwości prądu w sieci elektroenergetycznej w celu weryfikacji daty i czasu rejestracji nagrania i zbadania jego ciągłości. Przedstawiono automatyzację czynności związanych z analizą takiego sygnału oraz przeszukiwaniem bazy referencyjnej w celu ustalenia, kiedy dokonano utrwalenia przedmiotowego nagrania. Oprócz wprowadzenia do tematyki związanej z sygnałem ENF zaprezentowano wyniki praktycznego zastosowania oprogramowania do analizy cyfrowych nagrań zarejestrowanych za pomocą rejestratorów różnych marek. Oszacowano również kryteria, jakie powinien spełniać taki sygnał, aby na jego podstawie możliwe było dokonanie poprawnego badania autentyczności nagrania.*

Słowa kluczowe: *nagranie cyfrowe, autentyczność, ENF* Criterion.

Summary

The aim of the hereby article was to present a software designed as an aid for an expert carrying out examinations of authenticity of digital audio recordings based on the Electric Network Frequency (ENF) Criterion. This method involves analysing the signal reflecting variations in ENF included in a questioned recording in order to verify date and time of recording and check its continuity. The article presents the automation of the activities within the analysis of such signal as well as the search of the reference database in order to determine when a recording was made. In addition to an introduction to the issues related to ENF signal results of practical application of a software for analysis of digital recordings made on recorders of various makes was presented. Also estimated criteria that such a system should meet to be used for appropriate recording authentication have been defined.

Keywords: *digital recording, authenticity, ENF Criterion.*