

Daniel JANARCZYK\*

## BADANIA I ANALIZA SYGNAŁÓW INFRADŹWIĘKOWYCH EMITOWANYCH PRACĄ TRANSFORMATORÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH

Tematyka podjęta w artykule dotyczy problematyki hałasu infradźwiękowego emitowanego przez eksploatowane w warunkach przemysłowych urządzenia elektroenergetyczne. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów i analiz sygnałów niskoczęstotliwościowych, w tym infradźwiękowych, generowanych przez pracujące w warunkach znamionowych transformatory elektroenergetyczne. Badaniom poddano transformatory rozdzielcze obniżające napięcie z 15 kV na 0,4 kV, zarówno o izolacji olejowej, jak również suchej o znamionowych mocach pozornych w zakresie od 150 kVA do 1250 kVA. W części wynikowej artykułu zaprezentowano przebiegi widm częstotliwościowych poziomu ciśnienia akustycznego sygnałów infradźwiękowych zarejestrowanych podczas normalnej pracy transformatorów rozdzielczych. Ponadto zaprezentowano przebiegi czasowe zarejestrowanych sygnałów.

SŁOWA KLUCZOWE: transformatory elektroenergetyczne, hałas, infradźwięki, poziom ciśnienia akustycznego.

### 1. WPROWADZENIE

Pomiar hałasu infradźwiękowego generowanego przez nowe oraz wyeksploatowane transformatory elektroenergetyczne wymaga przeprowadzenia szeregu badań i przygotowań. Należy jednoznacznie określić referencyjne metodyki pomiarowe, sposoby analizy oraz ocenę uciążliwości generowanego hałasu. Należy zaznaczyć, że brak jest ogólnego i obejmującego wszystkie szczegółowe zagadnienie spojrzenia na problematykę oddziaływania hałasu infradźwiękowego na środowisko naturalne. Dotychczas ocenę uciążliwości hałasu infradźwiękowego przeprowadza się jedynie na stanowiskach pracy [3]. W ramach badań podjęto próbę określenia poziomu hałasu infradźwiękowego generowanego przez transformatory elektroenergetyczne, pracujące w warunkach znamionowych. Badaniom poddano transformatory rozdzielcze obniżające napięcie z 15 kV na 0,4 kV zarówno o izolacji olejowej, jak również suchej o znamionowych mocach pozornych w zakresie od 150 kVA do 1250 kVA.

---

\* Politechnika Opolska

W celach porównawczych przeprowadzono pomiary sygnałów niskoczęstotliwościowych dla jednostek transformatorowych pracujących w warunkach napowietrznych oraz wewnętrznych. W przeprowadzonych badaniach skupiono się jedynie na pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego, nie przeliczając go na poziom mocy akustycznej. Podejście takie pozwala określić zakres potencjalnego oddziaływania infradźwięków bezpośrednio w miejscu usytuowania punktu pomiarowego.

## 2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH TRANSFORMATORÓW I APARATURY POMIAROWEJ

Pierwszym badanym obiektem był transformator napowietrzny średniego napięcia (15 kV / 0,4 kV) o mocy pozornej 250 kVA (Transformator 1), przedstawiony na rysunku 1. Obiekt zlokalizowany jest w miejscowości Jasienica w województwie śląskim.



Rys. 1. Transformator napowietrzny o mocy pozornej 250kVA (Transformator 1)

Drugim badanym obiektem był transformator napowietrzny średniego napięcia (15 kV / 0,4 kV) o mocy pozornej 150 kVA (Transformator 2), przedstawiony na rysunku 2. Obiekt zlokalizowany jest w miejscowości Grodziec w województwie śląskim.



Rys. 2. Transformator napowietrzny o mocy pozornej 150kVA (Transformator 2)

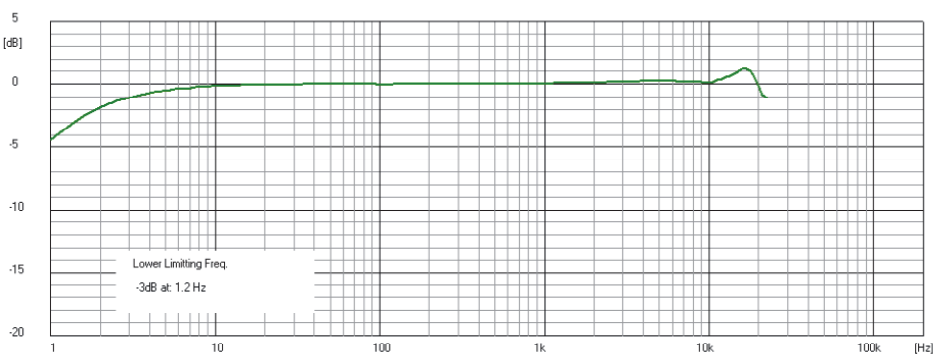
Trzecim badanym obiektem był transformator wewnętrzny średniego napięcia (15 kV / 0,4 kV) żywiczyński typ: TRICAST 1250/15 firmy Schneider Electric o mocy pozornej 1250 kVA (Transformator 3), przedstawiony na rysunku 3. Obiekt zlokalizowany jest w miejscowości Bielsko-Biała w województwie śląskim.



Rys. 3. Transformator wewnętrzny o mocy pozornej 1250kVA (Transformator 3)

Do rejestracji sygnałów niskoczęstotliwościowych wykorzystano układ pomiarowy składający się z mikrofonu pojemnościowego typ 4190 zaprojektowanego do bardzo dokładnych pomiarów w polu swobodnym, podłączonego z przedwzmacniaczem typ 2669L firmy Brüel & Kjær oraz cyfrowego miernika sygnału z funkcją rejestracji LAN-XI typ 3050-A-60 firmy Brüel & Kjær. Układ

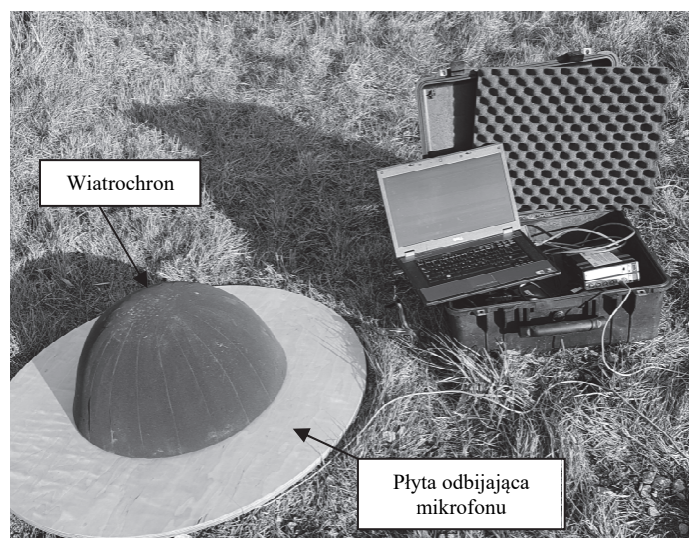
pomiarowy należy do typoszeregu przyrządów PULSE. Jest to profesjonalne narzędzie wykorzystywane do pomiarów ciśnienia akustycznego, natężenia dźwięku, a także drgań. Jego możliwości implementacyjne są bardzo szerokie począwszy od typowych badań akustycznych, takich jak pomiary hałasu, wyznaczanie poziomu mocy akustycznej, wykonywanie map hałasu przy użyciu techniki beamformingu, badanie właściwości akustycznych materiałów i wyznaczanie parametrów akustycznych pomieszczeń, a skończywszy na specjalistycznych badaniach akustycznych, takich jak: diagnostyka maszyn, analiza modalna oraz badania elektroakustyczne przetworników akustycznych [2]. W przypadku używanego zestawu, zakres mierzonych częstotliwości zawierał się w przedziale od 0,7 Hz do 20 kHz, dla których charakterystyka przenoszenia jest liniowa w zakresie  $\pm 3$  dB (rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka przenoszenia mikrofonu typ 4190 z osłoną [2]

Przed pomiarami przeprowadzano kalibrację układu pomiarowego przy wykorzystaniu kalibratora akustycznego typ 4231 firmy Brüel & Kjær. Dodatkowo do pomiarów użyto ochron przeciwwietrznych oraz okrągłej odbijającej powierzchni pomiarowej o średnicy 1 m, które stanowiły zestaw UA-2133 firmy Brüel & Kjær (rys. 5).

Do obsługi zastosowanego miernika zastosowano komputer wraz z dedykowanym oprogramowaniem, który połączono z systemem pomiarowym kablem LAN. Wszystkie parametry pracy definiowano za pomocą aplikacji PULSE LabShop, która stanowi integralną część zestawu pomiarowego. Oprogramowanie to, oprócz możliwości dokładnego skonfigurowania przyrządu, umożliwia rejestrację mierzonych sygnałów oraz ich wstępne przetwarzanie i wizualizację w trybie off-line. Do analizy zarejestrowanych sygnałów niskoczęstotliwościowych wykorzystano procedury obliczeniowe zdefiniowane w środowisku programistycznych Matlab.

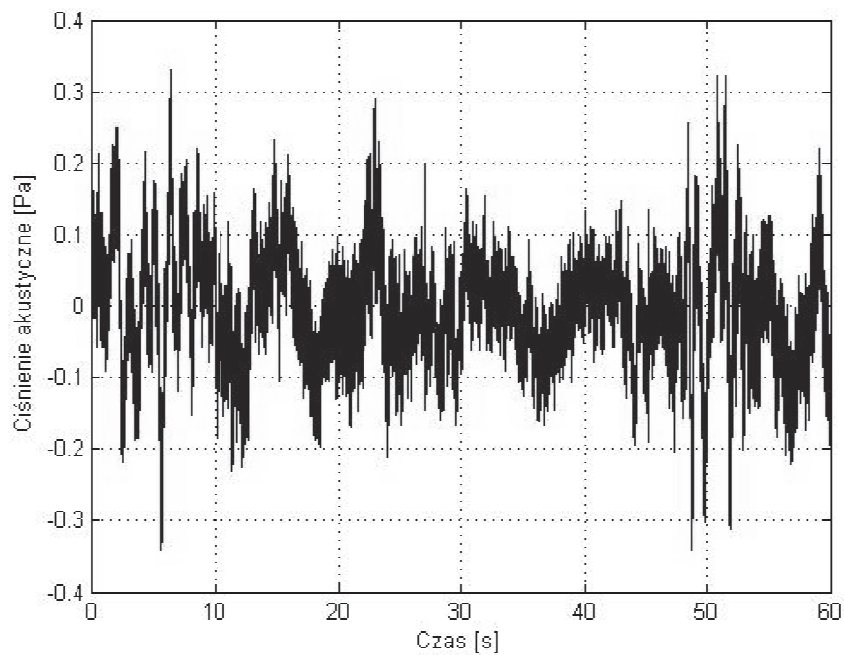


Rys. 5. Widok płyty odbijającej oraz wiatrochronu dla zastosowanego mikrofonu

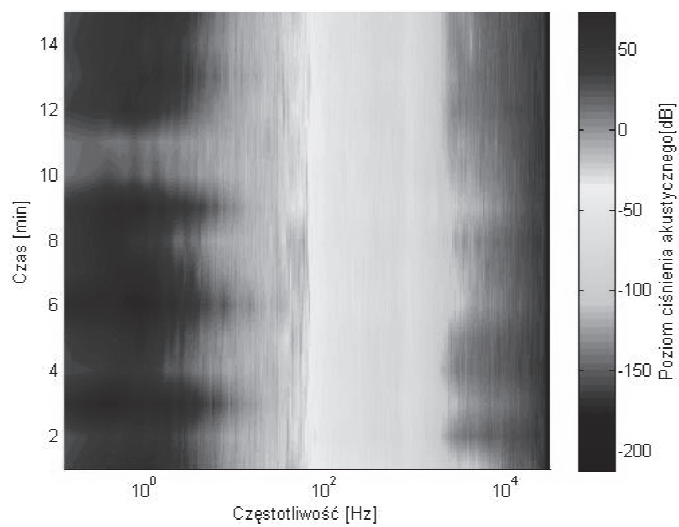
### 3. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej poziomu ciśnienia akustycznego generowanego przez badane transformatory hałasu infradźwiękowego dokonano wyboru punktu pomiarowego w odległości 50 m od badanego transformatora. Wybrany przebieg czasowy zarejestrowanego sygnału dla Transformatora 1 przedstawia rysunek 6.

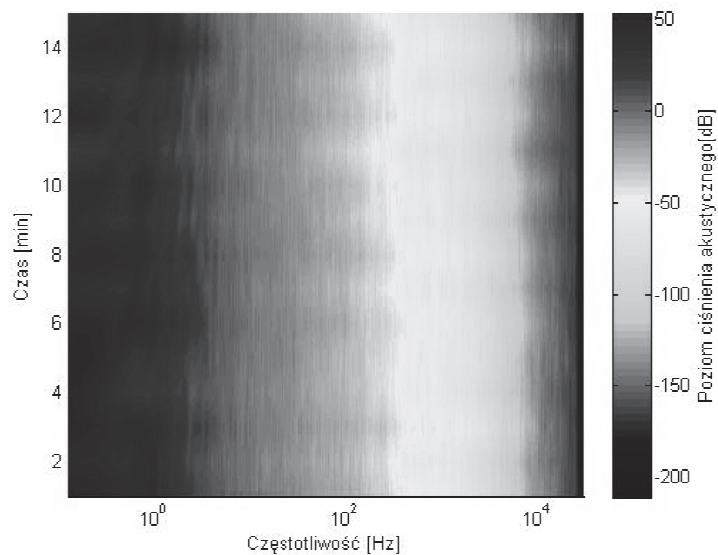
W pierwszym kroku analizy obliczono, osobno dla każdego z badanych transformatorów, dwuwymiarowe spektrogramy, które wyznaczono przy wykorzystaniu przekształcenia PWELCH. Przedstawiają one obrazy czasowo-częstotliwościowe zarejestrowanego poziomu ciśnienia akustycznego. Zaprezentowane w dziedzinie czas-częstotliwość spektrogramy opisano stosując skalę w postaci palety kolorów, których poszczególne barwy odpowiadają odpowiednim wartościom, wyrażonego w skali decybelowej, poziomu ciśnienia akustycznego (rys. 7, 8, 9).



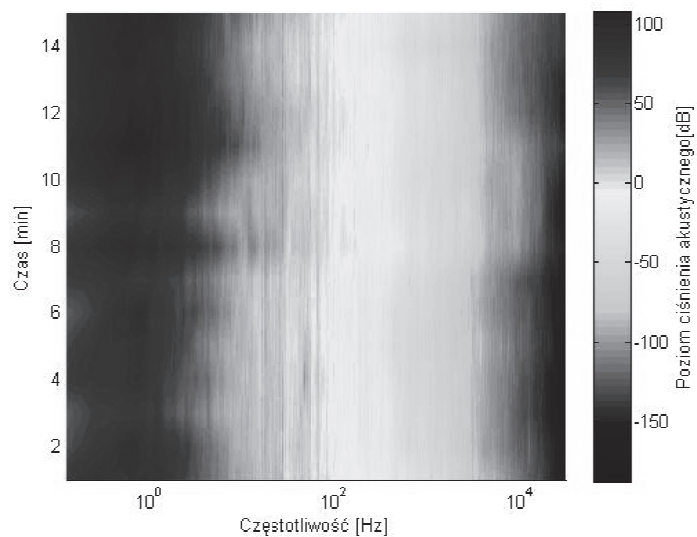
Rys. 6. Wybrany przebieg czasowy zarejestrowanego sygnału (Transformator 1)



Rys. 7. Dwuwymiarowy spektrogram sygnałów akustycznych generowanych przez transformator elektroenergetyczny (Transformator 1)



Rys. 8. Dwuwymiarowy spektrogram sygnałów akustycznych generowanych przez transformator elektroenergetyczny (Transformator 2)

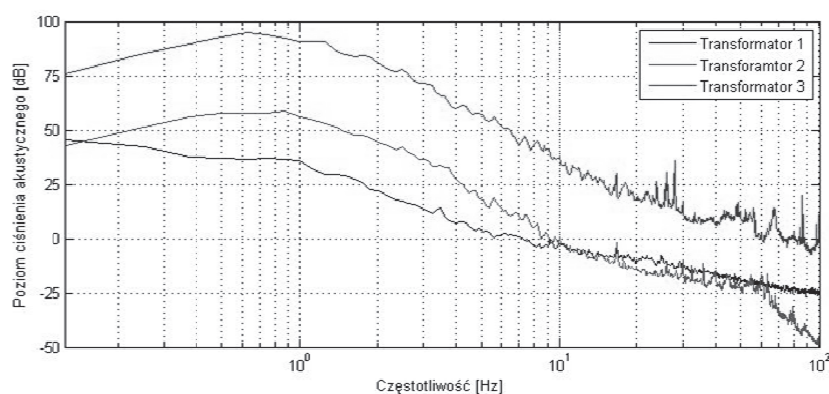


Rys. 9. Dwuwymiarowy spektrogram sygnałów akustycznych generowanych przez transformator elektroenergetyczny (Transformator 3)

Analizując wyznaczone spektrogramy dla badanych transformatorów, można stwierdzić, że w przypadku wszystkich transformatorów, charakterystyczne są

prążki przedstawiające podwyższone poziomy ciśnienia akustycznego dla pasma częstotliwości infradźwiękowych (do ok. 10 Hz). W przypadku Transformatora 3 (rys. 9), wartość ciśnienia akustycznego dla pasma niskich częstotliwości jest znacznie wyższa w stosunku do pozostałych transformatorów. Powodem tego może być lokalizacja Transformatora 3, gdyż jest to transformator przyłączeniowy w zakładzie przemysłowym, a zwiększony hałas infradźwiękowy może zawierać szumy pracujących maszyn.

W kolejnym kroku zestawiono na pojedynczej charakterystyce trzy uśrednione przebiegi widm częstotliwościowych dla badanych transformatorów (rys. 10). Otrzymane zależności uzyskano poprzez obliczenie średniej arytmetycznej oddzielnie dla wszystkich wartości ciśnienia akustycznego, które zarejestrowano dla danego transformatora. Wyznaczone wartości wyrażono w decybelach odnosząc je względem progu słyszenia tj.  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa.



Rys. 10. Porównanie uśrednionych widm amplitudowych sygnałów akustycznych niskiej częstotliwości generowanych przez badane transformatory

Porównanie uśrednionych widm amplitudowych trzech transformatorów (rys. 10), wskazuje na większe oddziaływanie akustyczne Transformatora 3, dla którego wartości w całym analizowanym paśmie częstotliwości są większe od poziomów emitowanych przez Transformator 1 oraz Transformator 2. Ponadto obliczone charakterystyki mają zbliżony kształt, a dla pierwszych dwóch transformatorów zbliżone wartości.

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dla wszystkich badanych transformatorów uzyskano zbliżone pod względem kształtu przebiegi uśrednionych widm amplitudowych, a także podobny charakter struktur czasowo-częstotliwościowych. Charakterystyczne jest stosunkowo liniowe i dynamiczne zmniejszanie się zarejestrowanych wartości ciśnienia aku-



stycznego (średnio o ok. 40 dB), które występuje wraz ze wzrostem częstotliwości w przedziale od 10 Hz do 100 Hz. Największa wartość poziomu ciśnienia akustycznego, występuje zawsze w zakresie do 1 Hz. Odpowiednio dla Transformatora 1 jest to średnio 35 dB, dla Transformatora 2 wartość ta wynosi 55 dB, a dla Transformatora 3 odpowiednio 95 dB .

Reasumując, na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że podczas pracy badanych transformatorów elektroenergetycznych generowany jest hałas akustyczny zawierający składowe infradźwiękowe, przy czym mniejsze poziomy ciśnienia akustycznego występują dla transformatorów napowietrznych mniejszej mocy Transformator 1 oraz Transformator 2.

Następnym etapem badań będzie wykonanie analogicznych pomiarów dla innych typów transformatorów różniących się konstrukcją, wielkością mocy, jak również czasem eksploatacji. Przeprowadzenie tego typu analiz umożliwi dokonanie uogólnionej oceny stopnia oddziaływania hałasu infradźwiękowego powstającego wokół pracujących transformatorów i w konsekwencji wykazanie czy oraz w jakim zakresie może ono wpływać na środowisko naturalne.

## LITERATURA

- [1] Boczar T., Wykorzystanie energii wiatru, Wydawnictwo Pomiary Automatyka Kontrola PAK, Gliwice, 2010.
- [2] Malec T., Boczar T., Wotzka D., Analiza porównawcza hałasu infradźwiękowego emitowanego przez turbiny wiatrowe różnych mocy, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 9, s. 773-778 , 2012.
- [3] Malec T., Hałas infradźwiękowy i sposoby oceny jego uciążliwości, Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, nr 342, Elektryka z. 66, s. 51-52, 2011.
- [4] Palwas K., Wpływ infradźwięków i hałasu niskich częstotliwości na człowieka – przegląd piśmiennictwa, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2009, nr 2(60), s. 27-64.

## RESEARCH AND ANALYSIS OF INFRASOUND NOISE EMITTED BY TRANSFORMERS

The subject area of this article applies to study of infrasound signals generated by transformers. The tests were carried out on medium voltage transformers which reduce the voltage from 15 kV to 0.4 kV, using oil and dry insulation with nominal apparent power in the range from 150 kVA to 1250 kVA. Moreover, the transformers working in overhead and indoor were compared. Scope of the analysis performed included designation of time runs, depicting temporal changes, and designation of frequency spectra of the recorded infrasound signals.

*(Received: 31.01.2018, revised: 12.03.2018)*

