

---

**XXV Seminarium**  
**NIENISZCZĄCE BADANIA MATERIAŁÓW**  
**Zakopane, 20-22 marca 2019**

---

**EMISJA AKUSTYCZNA (AE) - BADANIE URZĄDZEŃ  
TECHNICZNYCH METODĄ AE**

Ireneusz Baran

Urząd Dozoru Technicznego, ul. Szcześliwicka 34, 02-353 Warszawa  
Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego (CLDT)

## 1. WSTĘP

Urządzenia techniczne pracujące w warunkach przemysłowych podlegają badaniom okresowym dozoru technicznego, zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 07 grudnia 2012 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. 2012 poz. 1468). W ramach działań okresowych wykonywane są badania uzupełniające metodami nieniszczącymi (NDT) takimi jak: badania prądami wirowymi – ET, badania szczelności – LT, badania magnetyczno-proszkowe – MT, badania penetracyjne – PT, badania ultradźwiękowe – UT i badania wizualne – VT. Program badań i zakres czynności uzależniony jest od wielu czynników, w tym od rodzaju urządzenia, użytego materiału konstrukcyjnego, występujących mechanizmów jego degradacji, warunków pracy urządzenia, czy też czasu jego eksploatacji (pracy).

Kolejną coraz szerzej stosowaną już od lat metoda NDT, jest metoda emisji akustycznej (def. AE – emisja akustyczna, AT – badanie emisją akustyczną), w której personel podlega certyfikacji zgodnie z normą PN-EN ISO 9712:2012 „Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu NDT”, a podstawy opisano i zdefiniowano w PN-EN 1330-9:2017-09 „Badania nieniszczące. Terminologia. Część 9: Terminy stosowane w badaniach emisją akustyczną” i PN-EN 13554:2011 „Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Zasady ogólne”.

Możliwość wykrywania i lokalizacji źródeł sygnałów AE oraz możliwość wykonania badań w trakcie eksploatacji urządzeń sprawia, że obecnie metoda ta jest na świecie uznawana za odpowiednią do badań okresowych dużych urządzeń, między innymi w przemyśle petrochemicznym i chemicznym.

Badanie AT pozwala na ujawnienie uszkodzeń na wczesnym etapie ich występowania, a jednocześnie na objęcie badaniem całości obiektów przemysłowych. Badanie pozwala ujawnić wady i uszkodzenia m.in. takie jak: pęknięcia materiału a także ich rozwój, uszkodzenia korozyjne, wycieki/nieszczelności czy odkształcenia plastyczne. W trakcie badania emisją akustyczną urządzeń wykrywane są nieciągłości „aktywne” tzn. takie, które w określonych warunkach pracy, będą przejawiały tendencję do rozwoju. Jest to ważny czynniki wyróżniającym badania metodą AE od innych metod NDT.

Badanie AT bardzo dobrze uzupełnia się z innymi metodami badań nieniszczących, co pozwala na weryfikację i dokładniejszą ocenę wykrywanych uszkodzeń. W wielu przypadkach metoda AE stanowi jedną z kilku wykorzystywanych metod do oceny stanu technicznego danego urządzenia. Stosuje się ją głównie na etapie początkowym realizacji badań, co ma na celu wskazanie i uszczegółowienie miejsc do badań innymi metodami NDT – z tego powodu metoda ta często nazywana jest „metodą przesiewową”.

W niniejszym artykule przedstawiono podstawy metody AE oraz jej praktyczne zastosowania.

## **2. EMISJA AKUSTYCZNA – PASYWNA METODA BADAŃ NIENISZCZĄCYCH**

Emisja akustyczna jest jedną z metod badań nieniszczących uwzględnionych w normie PN-EN ISO 9712:2012 (certyfikacja personelu), a opisana i zdefiniowana w PN-EN 1330-9:2017-09 i PN-EN 13554:2011. Według PN-EN 1330-9:2017-09, Emisja Akustyczna (AE) jest terminem stosowanym w przypadku chwilowych fal sprężystych wywołanych przez wyzwolenie energii w materiale lub przez proces.

Metoda AE co istotne, jest pasywną metodą badań nieniszczących. Główne zalety tej metody badawczej to:

- możliwość globalnej inspekcji dużych elementów i konstrukcji – możliwość badania i monitorowania całego obiektu,
- możliwość lokalizacji źródła sygnałów AE generowanych przez wady/uszkodzenia,
- możliwość prowadzenia badań ciągłych,
- możliwość monitorowania procesów w czasie i miejscu ich występowania.

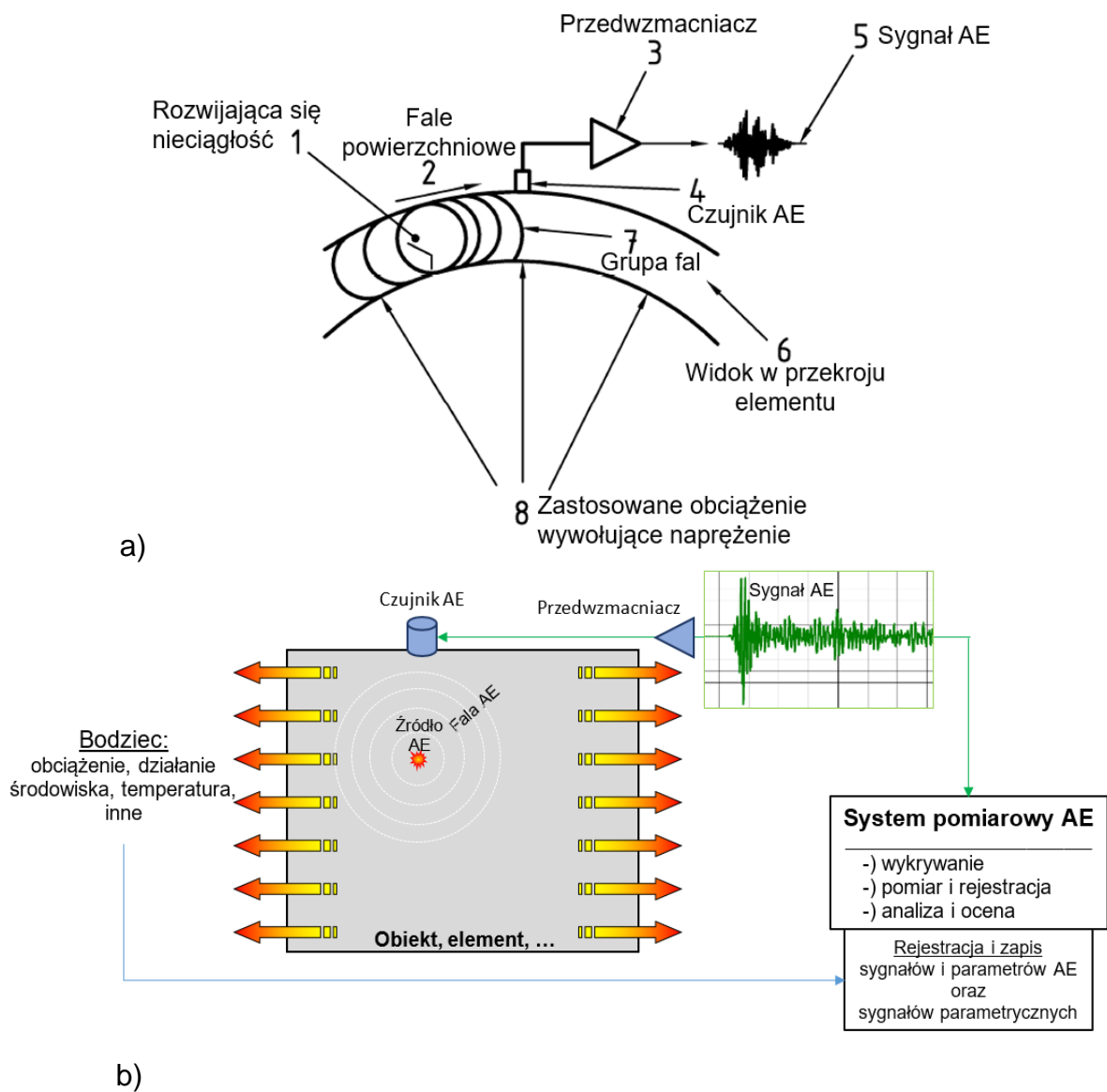
Główne ograniczenia metody AE to:

- podatność na zakłócenia,
- wpływ historii obciążania na możliwość realizacji badania,
- tłumienie fal AE wraz z propagacją,
- konieczność występowania bodźca zewnętrznego.

Badanie metodą AE polega na rejestracji fal sprężystych, będących efektem wyzwolenia energii sprężystej nagromadzonej w materiale, czyli jest to zmiana stanu równowagi energetycznej w materiale na skutek przyłożonego zewnętrznego bodźca. Bodźcem wywołującym wyzwolenie energii i powstanie fal sprężystych (rys.1) może być działanie obciążenia, środowiska czy zmiana temperatury. Procesy którym towarzyszy emisja akustyczna to zarówno zmiany na poziomie mikro jak i makro, takie jak: odkształcenie plastyczne, pękanie materiału, korozja, przecieki (nieszczelności), przemiany strukturalne i fazowe, reakcje chemiczne oraz delaminacja, pękanie włókien i osnowy w kompozytach, itp.

Fale AE propagują we wszystkich kierunkach od źródła, mogą więc być rejestrowane przez jeden lub więcej czujników zamocowanych na obiekcie lub elemencie. W czasie propagacji fale AE ulegają wytłumieniu, co ogranicza dystans, na jakim mogą one być wykrywalne. Dystans ten jest uzależniony od wielu czynników, w tym przede wszystkim od własności materiału, geometrii obiektu i poziomu zakłóceń pochodzących z tła akustycznego.

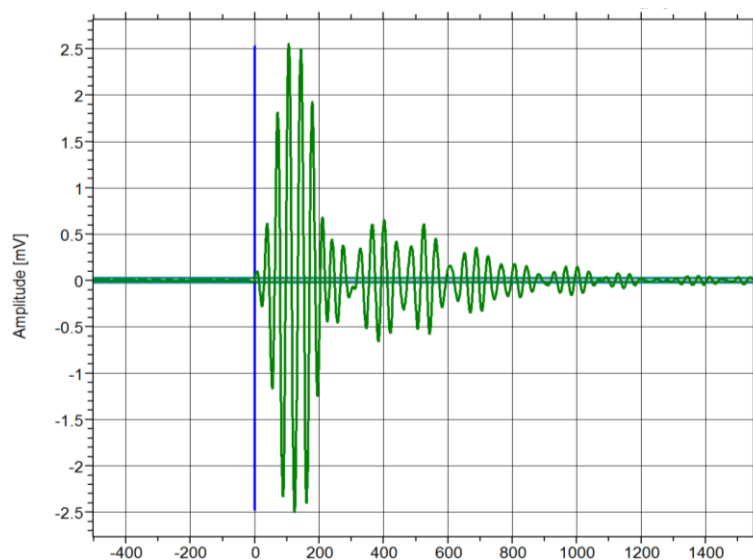
Sygnal impulsowy AE (rys.2) charakteryzowany jest za pomocą szeregu parametrów takich jak (rys.3): amplituda szczytowa, energia, czas narastania, czas trwania, liczba przekroczeń progu dyskryminacji (detekcji), co definiuje norma PN-EN 1330-9:2017-09.



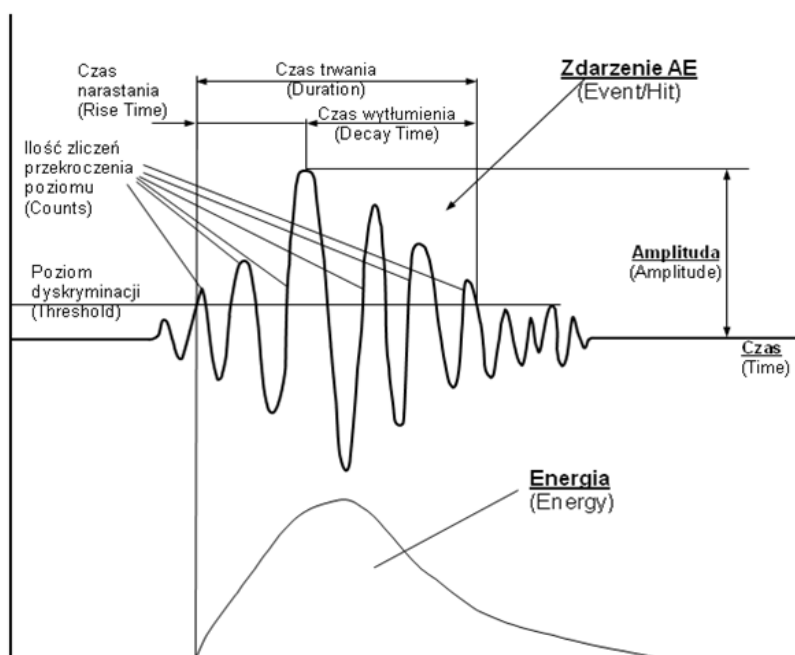
Rys.1. Schemat podstaw emisji akustycznej a) wg PN-EN 13554,  
b) ogólne zasady powstawanie fal AE, ich wykrywanie rejestracja i przetwarzanie.

Metoda AE polega na rejestracji fal sprężystych za pomocą czujników piezoelektrycznych, które zamieniają fale AE na sygnał elektryczny (rys. 2) transmitowany dalej do systemu pomiarowego (rys.1 i 4). Wszystkie elementy badania metodą AE i zależności między nimi, pokazano schematycznie na rysunku 4.

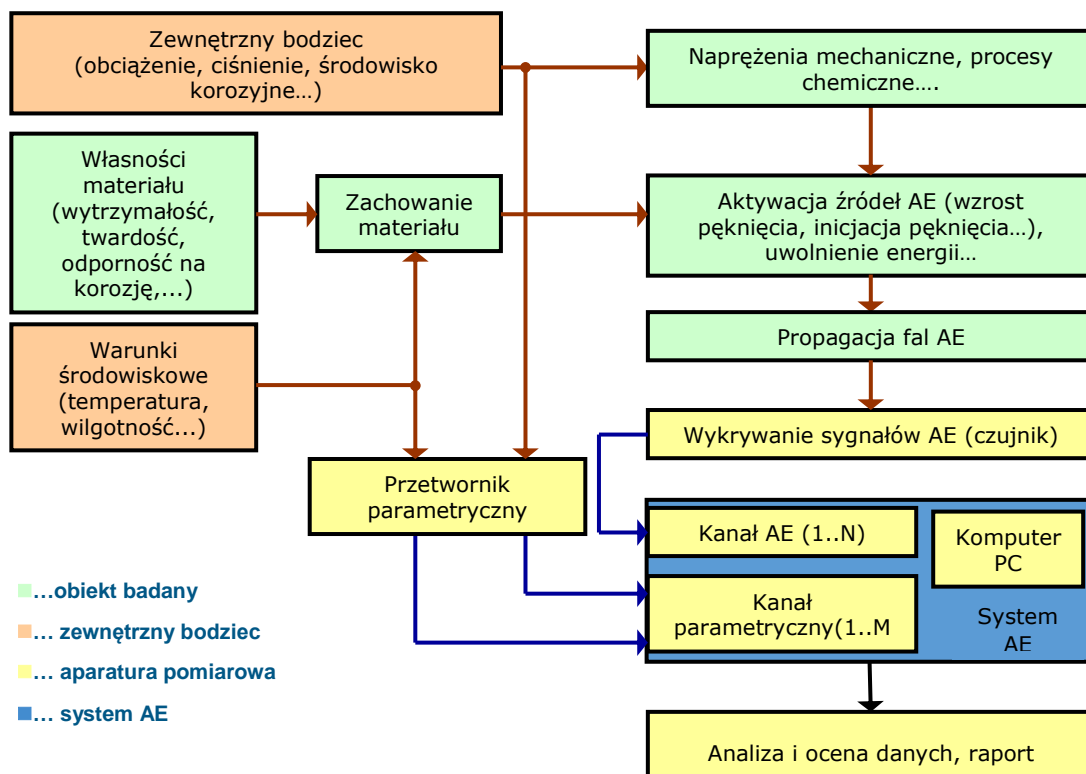
Oprogramowanie systemu pomiarowego AE umożliwia wizualizację zarejestrowanych danych pomiarowych w czasie prowadzenia pomiaru, a także ich zapis (w czasie rzeczywistym) w celu późniejszej analizy.



Rys.2. Sygnał impulsowy AE zarejestrowany przez pojedynczy czujnik pomiarowy.

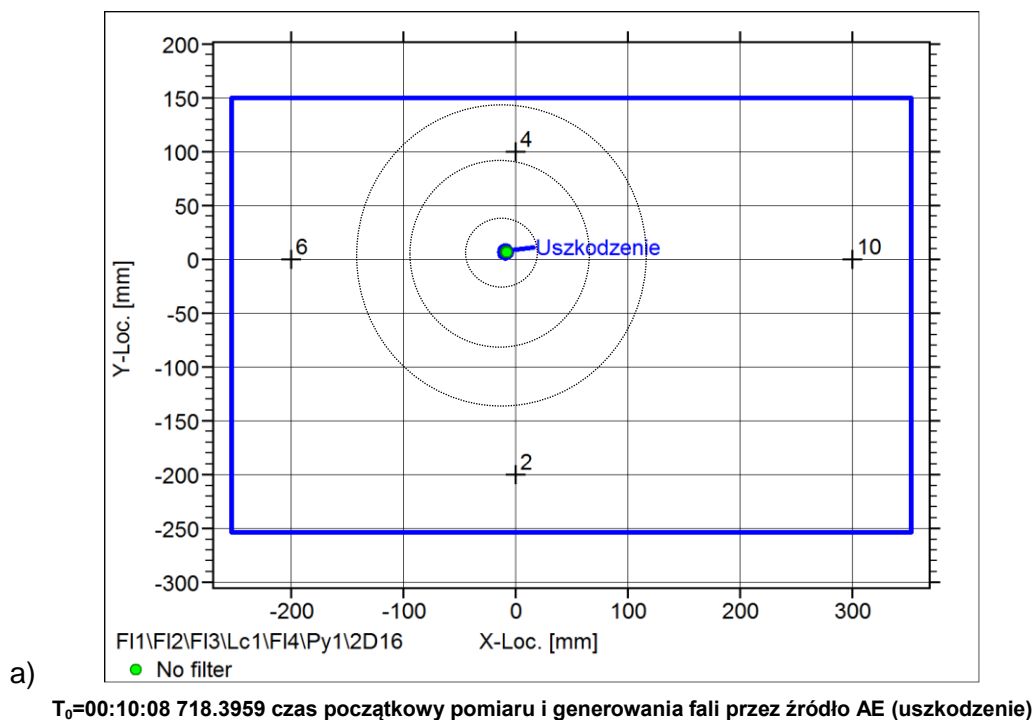


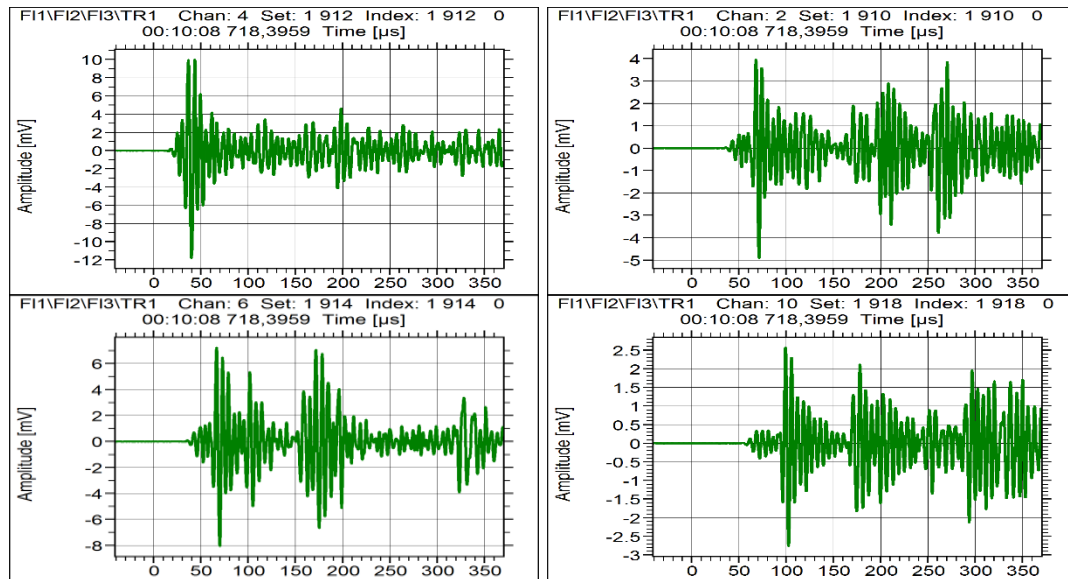
Rys.3. Parametry sygnału (zdarzenia) AE (AE Hit/Events)



Rys.4. Schematyczne przedstawienie badania metodą AE.

W przypadku zastosowania kilku czujników oraz oprogramowania z odpowiednimi algorytmami możliwe jest lokalizowanie źródła AE na podstawie różnicy czasu dotarcia fali AE do poszczególnych czujników (rys.5).





*Rys.5. Zasada lokalizacji źródła AE na płaszczyźnie  
 a) rozmieszczenie czujników na płycie i źródło fal AE (uszkodzenie), b) sygnały AE rejestrowane na poszczególnych czujnikach pomiarowych*

Badania urządzeń technicznych metodą AE, mogą różnić się między ze względu na rodzaj urządzenia oraz cel i zakres badania. Przykładem może być badanie AT urządzeń ciśnieniowych i płaskodennych zbiorników magazynowych o osi pionowej.

W przypadku badań metodą AE typowych urządzeń ciśnieniowych lub płaszczy zbiorników magazynowych fala AE propaguje od źródła bezpośrednio w materiale (metal) i przetwarzana jest na sygnał AE przez czujniki rozmieszczone na powierzchni ścianki badanego urządzenia. Dalej sygnał AE rejestrowany i przetwarzany jest przez system pomiarowy AE. W tym przypadku emisja akustyczna w postaci fal sprężystych, generowana jest przez powierzchniowe i wewnętrzne nieciągłości w materiale ścianki, spoinach i elementach badanego urządzenia, podlegających działaniu bodźca w postaci obciążenia (np. ciśnienia) w trakcie badania, a czego wynikiem jest wyzwolenie energii w materiale.

Natomiast w przypadku badania metodą AE dna zbiorników magazynowych fala AE propaguje od źródła na dnie poprzez magazynowaną w nim ciecz (np. ropa naftowa) do ścianki zbiornika, gdzie są rozmieszczone czujniki na jego powierzchni zewnętrznej na całym obwodzie według odpowiedniego schematu. Następnie sygnał AE rejestrowany i przetwarzany jest przez system pomiarowy AE. Dla tego przypadku emisja akustyczna w postaci fal sprężystych, generowana jest przede wszystkim przez procesy korozyjne materiału (metal) dna i/lub przecieki w dnie, jak również dodatkowo przez powierzchniowe i wewnętrzne nieciągłości w materiale dna i/lub pęknięcia produktów korozji, gdzie przyłożonymi bodźcami są maksymalne robocze napełnienie badanego zbiornika (obciążenie) i agresywne środowisko korozyjne.

Wyżej wymienione badania zasadniczo różnią się od siebie, zarówno metodyką pomiarową jak i zakresem oraz celem. Badanie dna zbiornika magazynowego ma przede wszystkim na celu wykrycie i zlokalizowanie źródeł AE powodowanych aktywnymi procesami korozyjnymi i/lub przeciekami. Natomiast badanie urządzenia ciśnieniowego lub płaszcza zbiornika magazynowego ma na celu wykrycie i zlokalizowanie źródeł AE generowanych przez powierzchniowe i wewnętrzne nieciągłości w spoinach i elementach ścianek badanego urządzenia.

### 3. BADANIA AT URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH

Badanie emisją akustyczną (AT) urządzeń ciśnieniowych wykonuje się zgodnie z wymaganiami dotyczącymi zastosowania metody AE zawartymi w normach i specyfikacji:

- PN-EN 13554:2011 „Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Zasady ogólne”,
- PN-EN 14584:2013-07 „Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Sprawdzenie metalowych urządzeń ciśnieniowych podczas próby odbiorczej. Planarna lokalizacja źródeł AE”,
- ASME BPVC.V-2017 „Article 12 - Acoustic emission examination of metallic vessels during pressure testing” oraz w normach związanych, które zostały w nich wykazane.

Badanie metodą emisji akustycznej (AE) obejmuje zlokalizowanie i określenie klasy źródeł sygnałów emisji akustycznej generowanych przez powierzchniowe i wewnętrzne wady w ściankach, połączeniach i elementach płaszcza badanego urządzenia, podlegających działaniu obciążenia w trakcie badania. Klasyfikację aktywności źródła AE według normy PN-EN 13554:2011, jak również zawartej w normie PN-EN 14584:2013-07 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Klasyfikacja aktywności źródeł AE

Klasa źródła	Definicja	Zalecane działania
1	Źródło mało istotne	Nie są wymagane dalsze działania. Źródło do uwzględnienia w następnych badaniach
2	Źródło aktywne	Zaleca się badanie innymi metodami nieniszczącymi, jeśli źródło jest powiązane z charakterystycznymi elementami urządzenia ciśnieniowego (np.: spoiny króćców, uchwytów itd.)
3	Źródło bardzo aktywne	Zanim urządzenie ciśnieniowe zostanie włączone do eksploatacji, powinna być przeprowadzona dalsza ocena innymi odpowiednimi metodami badań nieniszczących

### 4. BADANIA AT DEN PŁASKODENNYCH ZBIORNIKÓW MAGAZYNOWYCH O OSI PIONOWEJ

Badanie emisją akustyczną (AT) den płaskodennych zbiorników magazynowych o osi pionowej wykonuje się zgodnie z wymaganiami dotyczącymi zastosowania metody AE zawartymi w normach:

- PN-EN 13554:2011 „Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Zasady ogólne”,
  - PN-EN 15856:2010 „Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Zasady ogólne badania AE przy wykrywaniu korozji w metalowym otoczeniu wypełnionym cieczą”,
  - PN-EN ISO 18081:2016-08 „Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Wykrywanie nieszczelności z wykorzystaniem emisji akustycznej”,
- oraz w normach związanych.

Badanie AT den zbiorników magazynowych na materiały ciekłe obejmuje zlokalizowanie w dnie zbiornika i strefie przyściennej zbiornika bezpośrednio stykającymi się z magazynowanym materiałem, źródeł AE powodowanych procesami

korozyjnymi (wg PN-EN ISO 8044:2002 „Korozja metali i stopów - Podstawowe terminy i definicje”) lub przeciekami oraz ich ocenę dla potrzeb klasyfikacji stanu technicznego zbiornika.

Klasyfikację jakościową zbiorników magazynowych zgodną z zaleceniami normy PN-EN 15856:2010 oraz systemem klasyfikacji zbiorników, opartym o europejski system klasyfikacji zbiorników magazynowych, przedstawiono poniżej w tabeli 2.

*Tabela 2. Klasyfikacja jakościowa zbiorników magazynowych*

Opis stanu badanego obiektu	Klasa zbiornika	Zalecany okres eksploatacji
Brak aktywnych źródeł AE	I	4 lata
Zlokalizowano źródła mało istotne – procesy korozyjne o niskiej aktywności	II	2 lata
Zlokalizowano źródła istotne – procesy korozyjne o średniej aktywności	III	1 rok
Zlokalizowano źródła bardzo istotne – wykryto wyciek i/lub procesy korozyjne o wysokiej aktywności	IV	wymagana rewizja wewnętrzna w najbliższym możliwym czasie

## 5. PRZYKŁADY BADAŃ AT RÓŻNYCH URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH

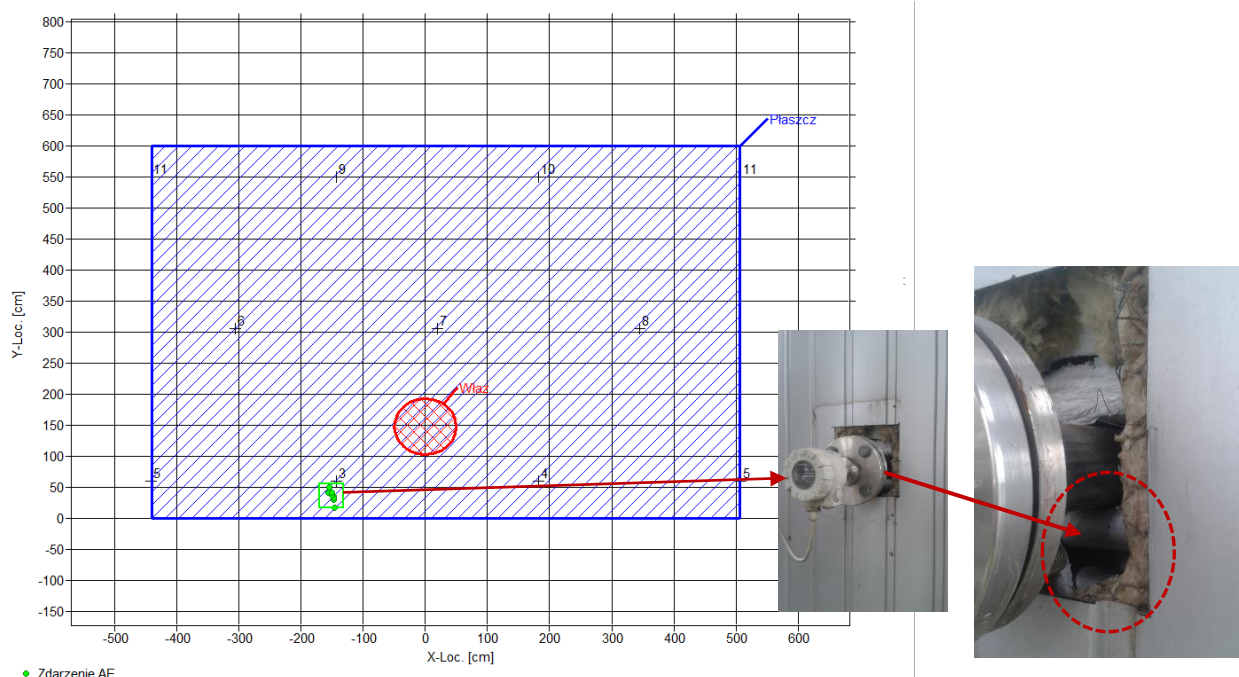
Poniżej przedstawiono dwa przykłady zastosowania metody AE do badania różnych urządzeń technicznych.

Na rysunku 6 pokazano zbiornik magazynowy, na którym zakres badania AT obejmowało jego płaszczyznę i dach. Na rysunku 7 pokazano lokalizację wykrytego źródła AE na płaszczyźnie zbiornika oraz jego identyfikację, jako kontakt (nacisk) węzłownicy grzewczej z króćcem termopary (duże naprężenia kontaktowe).



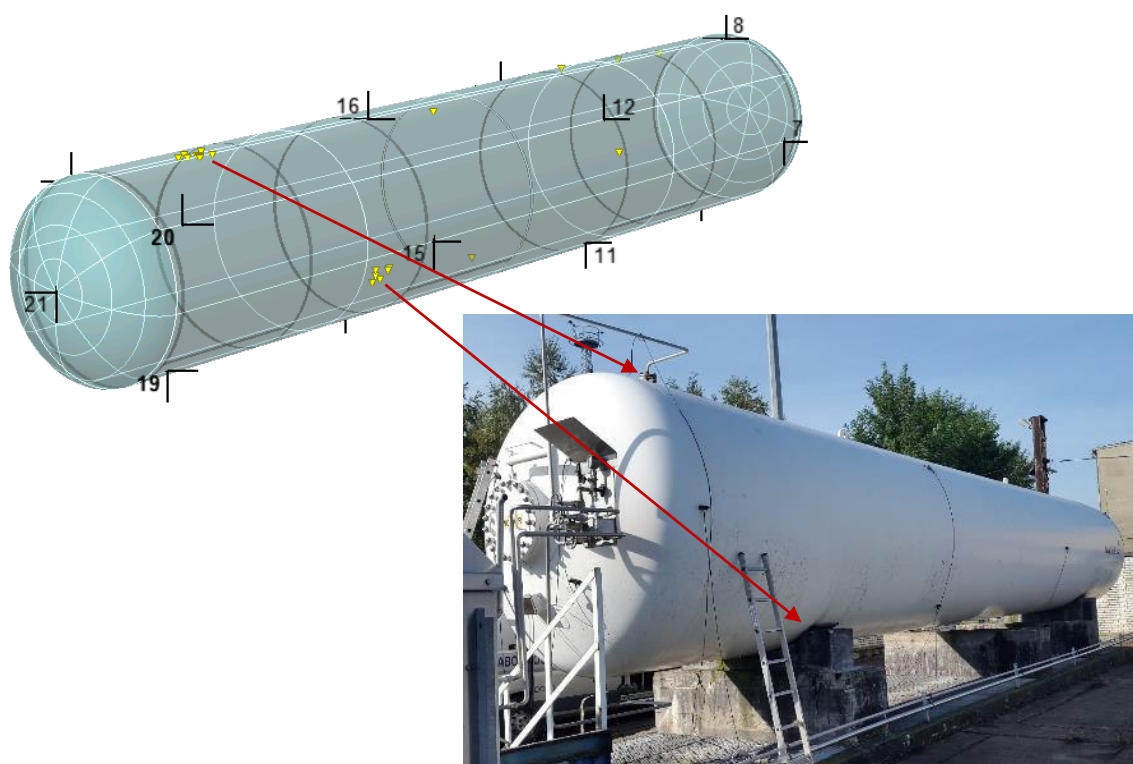
*Rys.6. Widok badanego metodą AE zbiornika magazynowego.*





Rys. 7. Lokalizacja źródła AE na płaszczu badanego zbiornika magazynowego – identyfikacja wskazania: kontakt węzownicy z króćcem na płaszczu zbiornika

Na rysunku 8 pokazano zbiornik ciśnieniowy oraz lokalizację wykrytych źródeł AE, jak również identyfikację tych wskazań, jako uszkodzenia korozyjne (wżery - korozja kontaktowa z blachą na podporze) oraz uszkodzenie (odkształcenie i pęknięcie) śruby połączenia kołnierzewego.



Rys. 8. Widok badanego metodą AE zbiornika ciśnieniowego oraz lokalizacja źródeł AE i identyfikacja wskazań: uszkodzenie korozyjne (wżery) oraz uszkodzenie śruby połączenia kołnierzewego

## 6. PODSUMOWANIE

Należy podkreślić, że przedstawione w artykule zastosowania AT do badania obiektów przemysłowych są jedynie przykładami możliwości zastosowania. Metoda emisji akustycznej może być szeroko stosowana w zakresie badania innych obiektów. Przykładem może być badanie konstrukcji mostów. Wymaga to jednak indywidualnego podejścia zarówno od strony metodyki badawczej jak i kryteriów oceny. Z powodu możliwości adaptacji metody do badania różnych obiektów obserwuje się od lat zwiększone zainteresowanie wykorzystaniem metody.

## LITERATURA

1. NDT Handbook - Third Edition Vol.6 - Acoustic Emission Testing, Editors: R.K.Miller, E.v.K.Hill and P.O.Moor, ASNT 2005.
2. PN-EN 1330-9:2017-09 Badania nieniszczące - Terminologia - Część 9: Terminy stosowane w badaniach emisją akustyczną.
3. PN-EN 13554:2011 Badania nieniszczące - Emisja akustyczna - Zasady ogólne.
4. PN-EN 14584:2013-07 Badania nieniszczące - Badania emisją akustyczną - Sprawdzenie metalowych urządzeń ciśnieniowych podczas próby odbiorczej - Planarna lokalizacja źródeł AE.
5. PN-EN 15856:2010 Badania nieniszczące - Emisja akustyczna - Zasady ogólne badania AE przy wykrywaniu korozji w metalowym otoczeniu wypełnionym cieczą.
6. PN-EN ISO 18081:2016-08 Badania nieniszczące - Emisja akustyczna - Wykrywanie nieszczelności z wykorzystaniem emisji akustycznej.
7. PN-EN ISO 8044:2002 „Korozja metali i stopów - Podstawowe terminy i definicje”.
8. ASME BPVC.V-2017 „Article 12 - Acoustic emission examination of metallic vessels during pressure testing”.