

Ireneusz Baran*

Urząd Dozoru Technicznego, Warszawa

Badania nieniszczące urządzeń technicznych metodą emisji akustycznej

Non-destructive testing of technical equipment using acoustic emission method

ABSTRACT

Technical devices operating in industrial conditions are subject to periodic technical inspection, in accordance with the Regulation of the Council of Ministers of 07 December 2012 on the types of technical devices subject to technical supervision (Journal of Laws 2012 item 1468).

As part of periodic inspections, supplementary non-destructive testing (NDT) are carried out, such as: eddy current tests - ET, leak tests - LT, magnetic powder tests - MT, penetration tests - PT, ultrasonic tests - UT and visual tests - VT. The research program and scope of actions depends on many factors, including the type of device, material used, degradation mechanisms occurring, operating conditions of the device, or its operating time.

Another NDT test method that is more and more widely used is the acoustic emission method (def. AE - acoustic emission, AT - acoustic emission testing according to PN-EN 1330-9: 2017-09). The ability to detect and locate AE signal sources, as well the ability to perform tests during the operation of devices (in-service), makes that this method is now worldwide considered as suitable for periodic testing of large objects, among others in the petrochemical and chemical. AT test allows detecting damages at an early stage of their occurrence, as well as at the same time allowing to globally monitoring whole object. The AT test complements very well together with other NDT methods, what allows verification and more accurate assessment of the detected damages. In many cases, the AE method is one of several methods used to assess the technical condition of the device. AT is used first of all at the initial stage, in order to indicate areas to tests by other NDT methods - for this reason this method is often called the "screening method". This article presents the basics of the AE method and its practical applications.

Keywords: non-destructive testing, acoustic emission (AE), testing using AE method - acoustic emission testing (AT)

STRESZCZENIE

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 degradacji, warunków pracy urządzenia czy też czasu jego eksploatacji.

Inną metodą badań NDT, coraz szerzej stosowaną, jest metoda emisji akustycznej (def. AE - emisja akustyczna, AT - badanie emisją akustyczną wg PN-EN 1330-9:2017-09). 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 całego obiektu. 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 w pierwszej kolejności na etapie początkowym, w celu wskazania i uszczegółowienia miejsc do badania innymi metodami NDT - z tego powodu metoda ta często nazywana jest „metodą przesiewową”. W niniejszym artykule przedstawiono podstawy metody AE oraz jej praktyczne zastosowania.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, emisja akustyczna (AE), badanie metodą AE - badanie AT

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 metodą 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

*Autor korespondencyjny. E-mail: ireneusz.baran@udt.gov.pl

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 całego obiektu. Badanie pozwala ujawniać 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 uszkodzenia (nieciągłości) „aktywne” tzn. takie, które w określonych warunkach pracy będą przejawiały tendencję do rozwoju. Jest to ważny czynnik 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 diagnostycznych, 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:

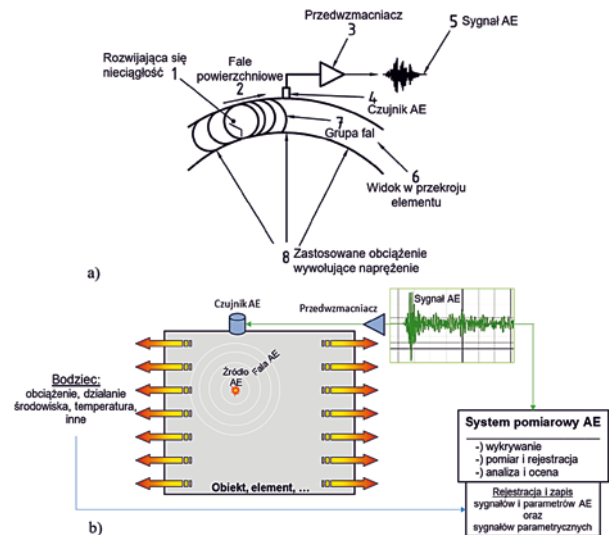
- możliwość globalnej inspekcji dużych elementów i konstrukcji – możliwość badania i monitorowania całego obiektu;
- możliwość lokalizacji źródła sygnałów AE generowanych przez wady/uszkodzenia;
- możliwość prowadzenia badań ciągłych;
- możliwość monitorowania procesów w czasie i miejscu ich występowania.

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.

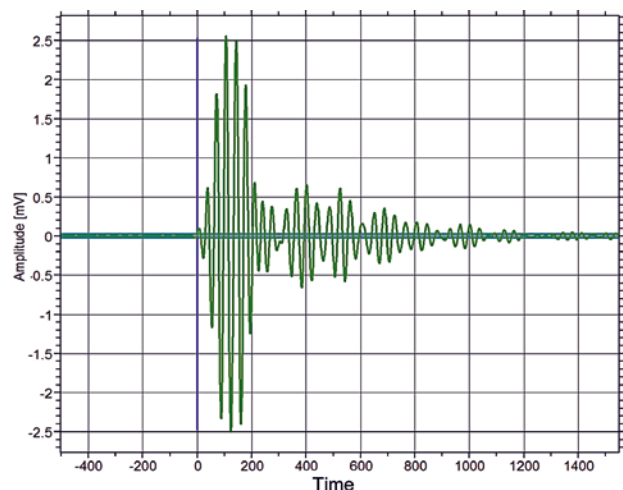
Badanie metodą AE polega na rejestracji fal sprężystych, będących efektem wyzwolenia energii sprężystej nagromadzonej w materiale, czyli jest to zmiana stanu

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, pęknięcie materiału, korozja, przecieki (nieszczelności), przemiany strukturalne i fazowe, reakcje chemiczne oraz delaminacja, pęknięcie włókien i osnowy w kompozytach, itp.



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

Fig. 1. Diagram of the basic of acoustic emission: a) by PN-EN 13554, b) general rules of generating of AE waves, their detection registration and processing



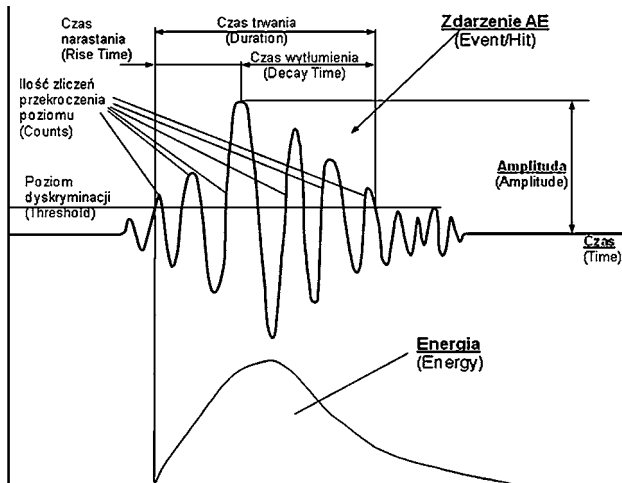
Rys. 2. Sygnał impulsowy AE zarejestrowany przez pojedynczy czujnik pomiarowy

Fig. 2. AE burst signal registered by a sensor

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.

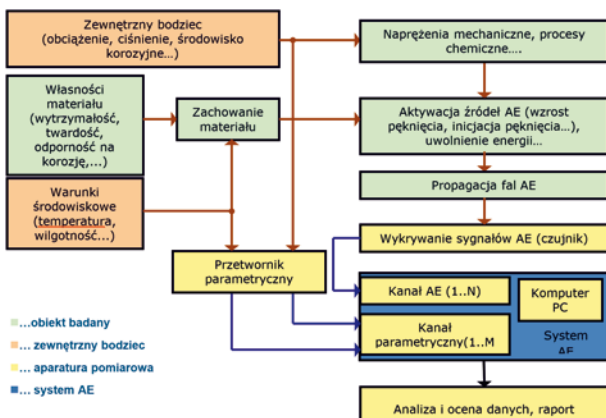
Sygnał impulsowy AE (rys. 2) charakteryzowany jest za pomocą szeregu parametrów, takich jak (rys. 3): amplituda szczytowa, energia, czas narastania, czas trwania, liczba przekroczeń progu dyskryminacji (detekcji), co definiuje norma PN-EN 1330-9:2017-09.



Rys. 3. Parametry sygnału impulsowego AE (AE Hit/Event)
Fig. 3. Burst AE signal parameters (AE Hit/Event)

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 związane z badaniem 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.

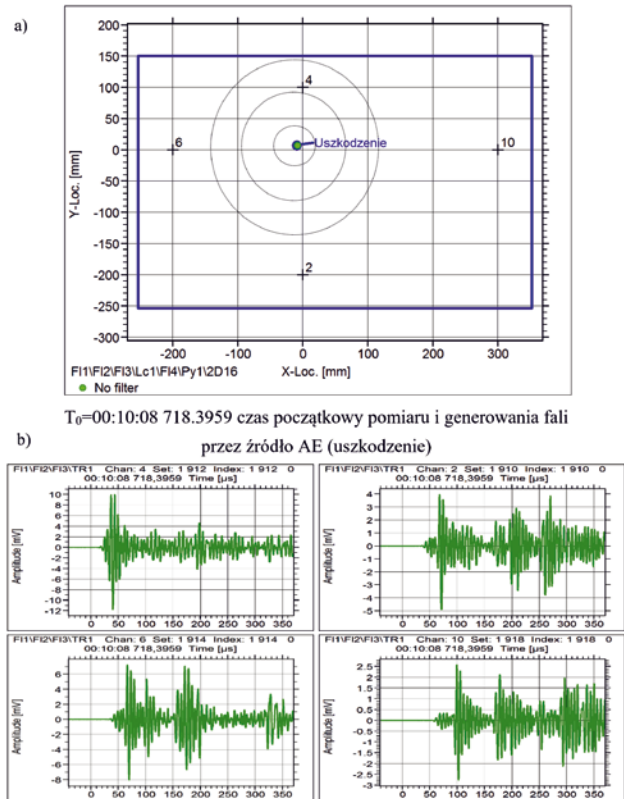


Rys. 4. Schematyczne przedstawienie elementów badania metodą AE
Fig. 4. Presentation of elements of the AE test

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).

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



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

Fig. 5. The rule of AE source location on plane: a) layout of sensors on plate and AE wave source (damage), b) AE signals recorded on each measurement sensors

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 uwolnienie energii w materiale.

Natomiast w przypadku badania metodą AE den zbiorników magazynowych fala AE propaguje od źródła na dnie poprzez magazynowaną w nim ciecz (np. ropa naftowa) do ścianki zbiornika, gdzie rozmieszczone są 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 płaszcz zbiornika magazynowego ma na celu wykrycie i zlokalizowanie źródeł AE generowanych przez powierzchniowe i wewnętrzne nieciągłości w spoinach i elementach ścianek badanego urządzenia.

3. Badanie 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 płaszcz 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.

Tab. 1. Klasyfikacja (aktywności) zlokalizowanych źródeł AE
Tab. 1. AE source location cluster severity grading

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, uchwyty itd.)
3	Źródło bardzo aktywne	Zanim urządzenie ciśnieniowe zostanie włączone do eksploatacji, powinna być przeprowadzona dalsza ocena innymi odpowiednimi metodami badań nieniszczących

4. Badanie 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.

Tab. 2. Klasyfikacja jakościowa zbiorników magazynowych
Tab. 2. Tank grading relating to rate of degradation

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.

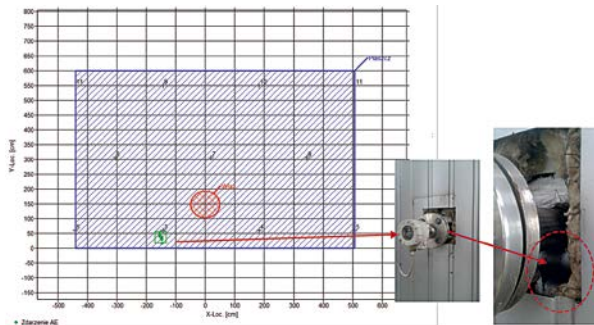
Na rysunku 6 pokazano zbiornik magazynowy, na którym zakres badania AT obejmował jego płaszcz i dach. Na rysunku 7 pokazano lokalizację wykrytego źródła AE na płaszczu zbiornika oraz jego identyfikację jako kontakt (nacisk) węzłownicy grzewczej z króćcem termopary (duże naprężenia kontaktowe).

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.



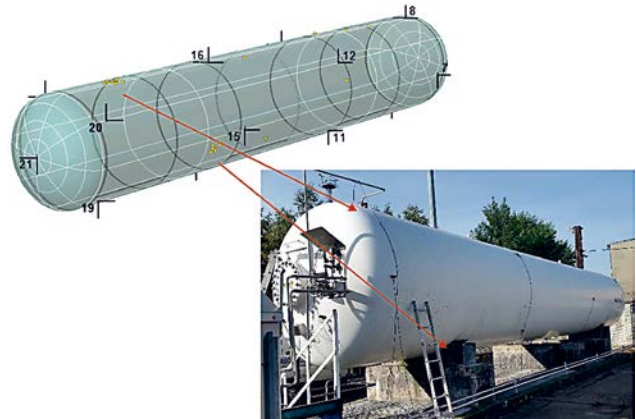
Rys. 6. Widok badanego metodą AE zbiornika magazynowego
Fig. 6. The view of storage tank tested by AE method



Rys. 7. Lokalizacja źródła AE na płaszczu badanego zbiornika magazynowego – identyfikacja wskazania: kontakt (nacisk) wężownicy z króćcem na płaszczu zbiornika
Fig. 7. Location of AE source on the shell of tested storage tank – identification of indication: direct contact (pressure) heating coil with nozzle on the tank shell

6. Podsumowanie

Należy podkreślić, że przedstawione w artykule zastosowania AT do badania obiektów przemysłowych są jedynie przykładami możliwości metody emisji akustycznej. Metoda AE może być i jest szeroko stosowana w badaniu wielu innych obiektów, zarówno cywilnych, jak i przemysłowych. Dla



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

Fig. 8. The view of tested by AE method pressure vessel and location of AE sources, as well identification of indications: corrosion damages (pits) and damage of bolt of flange connection

przykładu można tu wymienić: badania konstrukcji mostów zarówno stalowych, jak i betonowych, różnych konstrukcji betonowych, zbiorników i elementów kompozytowych, suwnic, turbin, hydroakumulatorów, butli gazów technicznych czy też rurociągów technologicznych. Wymagane jest jednak w każdym przypadku indywidualne podejście, zarówno od strony metodyki badawczej, jak i kryteriów oceny. Ze względu na możliwości adaptacji metody do badania różnych obiektów, obserwuje się od lat zwiększone zainteresowanie jej wykorzystaniem.

7. Literatura/References

- [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”.