Ireneusz Baran[1]*, Zbigniew Klimek[1,2], Marek Nowak[1]
1) Urząd Dozoru Technicznego, ul. Szczęśliwicka 34, 02-353 Warszawa
2) Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Metoda oceny poziomu i ilości osadu w zbiornikach magazynowych ropy naftowej

Method of Assessing the Level and Quantity of Sludge in Crude Oil Storage Tanks

STRESZCZENIE

Podczas magazynowania ropy naftowej, zwłaszcza w dużych zbiornikach magazynowych, systematycznie na dnie osadzają się cząstki organiczne o wysokiej masie cząsteczkowej (np. parafina), cząstki stałe (piasek, produkty korozji, itp.), jak również woda. Po pewnym okresie eksploatacji zbiornika cząstki te gromadząc się, tworzą osady, co powoduje m.in. zmniejszenie pojemności magazynowej. Istotna jest więc wiedza o kształcie i objętości osadów na dnie zbiornika, gdyż pozwala na określanie najlepszej formy przeciwdziałania i kontrolowania poziomu tych osadów. W 2017 roku UDT rozpoczął projekt opracowania systemu oceny poziomu i ilości osadów w zbiornikach magazynowych ropy naftowej, z wykorzystaniem techniki AE i termografii. W kolejnych latach realizacji projektu opracowano kompletną metodykę i procedurę oceny poziomu, objętości i kształtu osadów oraz proces weryfikacji wyników. W artykule przedstawiono wykorzystanie techniki AE i metody termografii oraz analizę i przetwarzanie danych pomiarowych w ramach systemu do oceny poziomu, objętości i kształtu osadów wewnątrz zbiornika magazynowego.

***Słowa kluczowe**: emisja akustyczna (AE); termowizja; propagacja fal AE;*

ABSTRACT

When crude oil is stored in large tanks, invariably high-molecular-weight organic sediments (paraffin) are deposited but the resulting sediments also contain solid particles (sand, corrosion products, etc.) as well as water. After some period of in-service of the tank, these deposits build up to form a sludge, which causes reduction in the storage capacity. Knowledge of the shape and volume of the sludge at the bottom of the tank is important, as it allows determining the best form of counteracting and controlling the level of sludge. In 2017 the Office of Technical Inspection launched a project to develop a system for assessing the level and quantity of sludge in crude oil storage tanks, using the AE technique and thermography. In the following years of duration of the project, a complete methodology and procedure for assessing the level, volume and shape of sludges was developed, as well as a process of verifying the results. In this paper are presented the use of AE technique and thermography method as well as the analysis and processing of measurement data within the system for assessing the level, volume and shape of sludge inside a storage tank.

***Keywords**: acoustic emission (AE); termography; AE wave propagation; sludge; crude oil storage tanks.*

1. Wstęp

Podczas magazynowania ropy naftowej, zwłaszcza w dużych zbiornikach magazynowych, systematycznie na dnie osadzają się cząstki organiczne o wysokiej masie cząsteczkowej (np. parafina), cząstki stałe (piasek, muł, produkty korozji itp.), jak również woda. Po pewnym okresie eksploatacji zbiornika cząstki te gromadząc się, tworzą osad (osady), co powoduje m.in. zmniejszenie pojemności magazynowej. Składniki o wysokiej zawartości węglowodorów są nadal cennym surowcem, a właściwy sposób odzyskiwania pozwala na ich dalsze wykorzystanie do procesów rafinacji.

Z wyżej wymienionych powodów istotna jest wiedza o kształcie i objętości osadów na dnie zbiornika, gdyż pozwala na określanie najlepszej formy przeciwdziałania i kontrolowania poziomu osadów (w trakcie eksploatacji) oraz wybranie odpowiedniej metody ich usuwania (w przypadku wyłączenia z eksploatacji i otwarcia zbiornika).

Znajomość objętości i kształtu osadów w zbiornikach jest ważna dla użytkowników baz magazynowych ropy naftowej, przede wszystkim z następujących powodów:

- utrzymanie odpowiedniej pojemności magazynowej zbiorników oraz kontrolowanie i monitorowanie poziomu osadów;
- w przypadku zastosowania konwencjonalnych metod usuwania osadów ropy naftowej, istnieje podwyższone ryzyko wystąpienia zagrożenia dla środowiska, dlatego też wybór odpowiedniej metody czyszczenia zbiornika jest bardzo istotny;
- większość konstrukcji zbiorników magazynowych posiada pływające dachy, co w przypadku gdy wewnątrz znajduje się wysoki poziom osadów, może powodować problemy lub nawet uszkodzenie dachu przy niskim poziomie składowanej ropy naftowej.

W 2017 roku UDT rozpoczął projekt opracowania systemu oceny poziomu i ilości osadów w zbiornikach magazynowych ropy naftowej, z wykorzystaniem techniki AE i termografii. W ramach realizacji projektu UDT nawiązał współpracę z firmami będącymi liderami w logistyce paliw i ropy naftowej w Polsce. W kolejnych latach opracowano kompletną metodykę i procedurę oceny poziomu, objętości i kształtu osadów oraz proces weryfikacji wyników. W artykule zostanie przedstawiona technika AE i metoda termografii służące do oceny poziomu, objętości i kształtu osadów wewnątrz zbiornika magazynowego. Opracowano również opis wynalazku i zgłoszono do Urzędu Patentowego RP.

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

Published by „Badania Nieniszczące i Diagnostyka" Publishing Agenda of SIMP
DOI: 10.26357/BNiD.2024.007

2. Projekt systemu do oceny poziomu osadów w zbiornikach magazynowych

Celem projektu było zbudowanie koncepcji i prototypu systemu do oceny poziomu i ilości osadów na dnie zbiornika magazynowego ropy naftowej. W założeniu system miał wykorzystywać kilka metod badawczych:

- emisję akustyczną (AE) w kilku wariantach metodyk pomiarowych;
- ocenę pola temperatur metodą termograficzną (TT) oraz pomiar temperatur metodą bezdotykową (bezstykową).

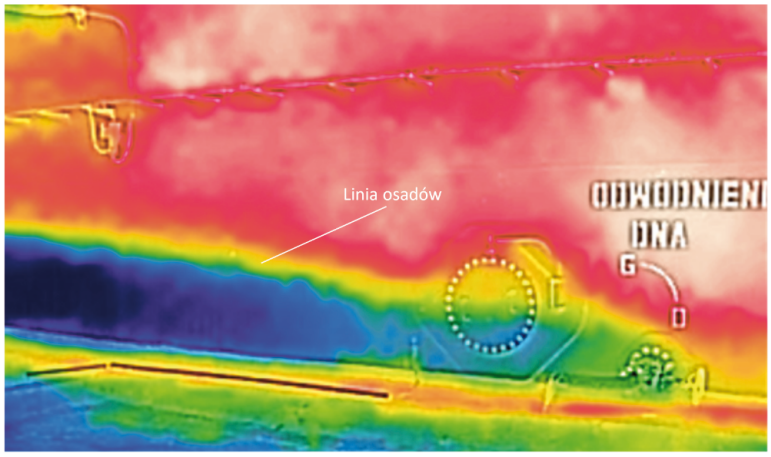
W ramach projektu opracowano szereg procedur pomiarowych, tj. badań z wykorzystaniem połączonych metod pomiarowych: metody emisji akustycznej (AE) oraz metody termowizji w połączeniu z bezstykowym pomiarem temperatury.

Celem tych badań było zebranie danych pomiarowych wysokości zalegania osadów w punktach wzdłuż ścianki na obwodzie oraz w punktach na dnie wewnątrz zbiornika. Zebrane dane w postaci bazy pomiarowej pozwalają w efekcie końcowym na wizualizację przestrzenną (mapę osadów) oraz ocenę poziomu i ilości (objętości) osadów zalegających na dnie zbiornika magazynowego.Wynikiem projektu było końcowe opracowanie metodyk i procedur pomiarowych, które zostało oparte o przeprowadzone weryfikacje zrealizowanych badań i ich wyników.

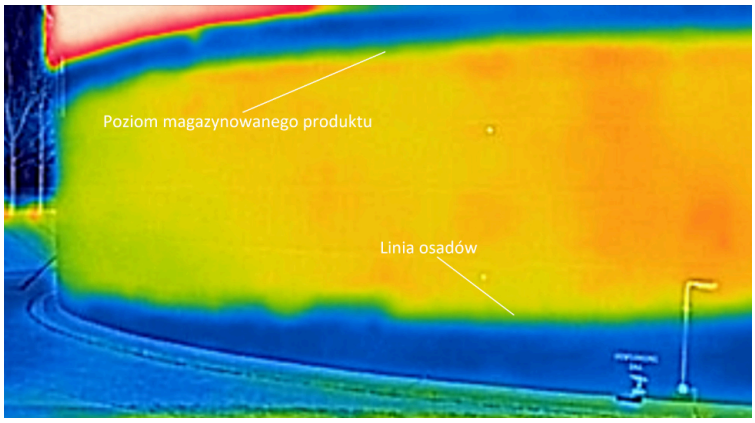
3. Termowizja i pomiary temperatury ścianki w ocenie poziomu osadów

Zastosowanie termografii do oceny poziomu osadów wzdłuż płaszcza zbiornika jest już znaną metodą i wielokrotnie opisywaną w różnych publikacjach [1, 2]. Różnice temperatur wynikają z różnic gęstości środowisk, a w efekcie ich własności termicznych [1, 2, 7, 8], co pozwala na wyznaczenie linii przejścia z ciekłej ropy naftowej do zestalonych osadów na dnie. Należy zaznaczyć, że nie w każdym przypadku możliwe jest zastosowanie badań termograficznych do wyznaczenia linii osadów. Na przykład w przypadku zbiorników dwupłaszczowych, ze względu na specyficzne warunki termiczne w przestrzeni międzypłaszczowej, konieczne jest często zastosowanie konwencjonalnych metod pomiaru temperatury ścianki (np. metoda bezstykowa), połączonych z odpowiednią metodyką oceny pola rozkładu temperatury.

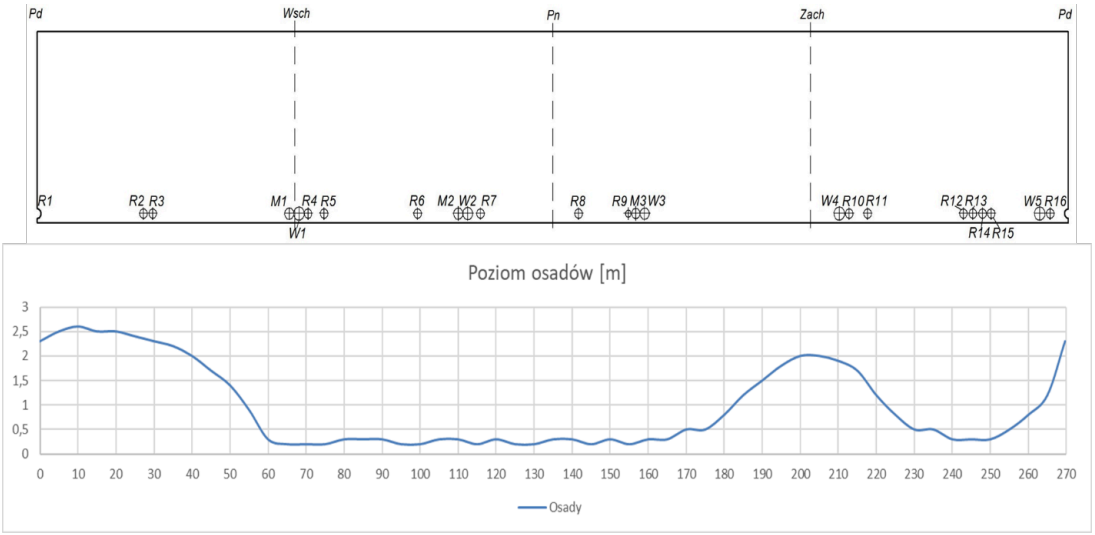
W ramach projektu przeprowadzono szereg badań termograficznych i pomiarów temperatur, mających na celu wyznaczenie linii osadów wzdłuż płaszcza zbiornika magazynowego. Na rys. 1 i 2 poniżej przedstawiono przykłady termogramów ze zbiorników z osadami na dnie wykonane



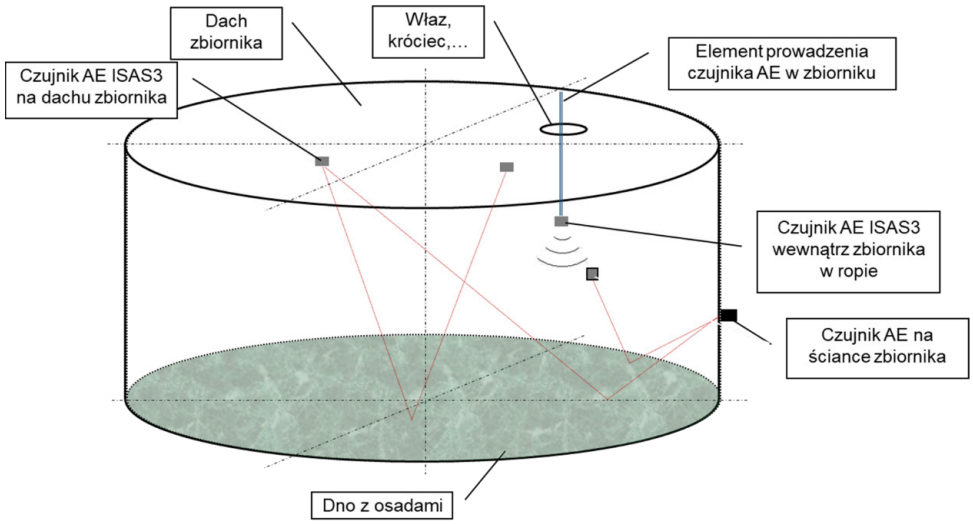
Rys. 1. Termogram płaszcza zbiornika z widoczną linią osadów.
Fig 1. Thermograph of the tank shell with a visible sludge line.



Rys. 2. Termogram płaszcza zbiornika z widoczną linią osadów i linią poziomu magazynowanego produktu.
Fig 2. Thermograph of the tank shell with a visible sludge line and line of the level storage product.



Rys. 3. Wizualizacja profilu (linii) osadów wzdłuż ścianki na obwodzie zbiornika
Fig 3. Visualization of the sludge profile (line) along the wall around the tank circumference



Rys. 4. Przykładowy ogólny schemat rozmieszczenia czujników AE na badanym zbiorniku oraz propagację fal akustycznych
Fig 4. An example of a general layout of AE sensors on the tank - the paths of waves propagation and waves reflection (including from sludge) in storage product between AE sensors

kamerą termowizyjną z wizualizacją obraz w obrazie (MSX).

Pomiar poziomu osadów wzdłuż ścianki na obwodzie zbiornika, polega na ocenie pola temperatur co ok. 3-5 m, jak również w miejscach występowania osprzętu (głównie rurociągów i mieszadeł) na płaszczu. Po określeniu wysokości osadów w wyznaczonych punktach wykreślany jest profil osadów wzdłuż ścianki jak pokazano na rys.3. Uzyskane dane pomiarowe wysokości osadów gromadzone są w bazie pomiarowej.

4. Technika AE w wyznaczaniu wysokości osadów wewnątrz zbiornika

Technika AE jest w tym przypadku wykorzystywana tylko w zakresie podstawowym metody AT, tak jak np. w przygotowaniu do badań i badaniach wstępnych, a w tym m.in. sprawdzanie czułości pomiarowej czy wyznaczanie prędkości propagacji fal AE w ropie [3 ÷ 6]. Natomiast opracowane metodyki pomiarowe wykorzystują inne możliwości tej techniki. Stosowany jest specjalny układ i rozmieszczenie czujników na ściance i dachu pływającym zbiornika (rys. 4). Czujniki na przemian generują impulsy i rejestrują sygnały AE (pełnią na przemian funkcje odbiornika lub nadajnika) zgodnie z ustalonym algorytmem. Rejestrowane sygnały AE są wynikiem generowania impulsów, propagacji fal i fal odbitych (w tym echa fal odbitych od osadów – rys. 5) w ropie naftowej magazynowanej w zbiorniku. Różnica czasów propagacji fal i fal odbitych pozwala na wyznaczanie wysokości osadów w określonych punktach na dnie zbiornika (rys. 6).

Na rys. 4 pokazano schematycznie proces pomiaru

wysokości osadu dla punktów na dnie zbiornika oraz propagację fali akustycznej od czujnika akustycznego/nadajnika do czujnika akustycznego/odbiornika z jej odbiciem od tego osadu na dnie. Na rys. 5 pokazano przykład przebiegu sygnału AE z echami fal od dna i dachu zbiornika. Na rys. 6 przedstawiono wizualizację przestrzenną danych pomiarowych wysokości osadów w określonych punktach na dnie zbiornika.

Uzyskane dane pomiarowe wysokości osadów gromadzone są we wspólnej bazie pomiarowej (razem z danymi z pomiarów wzdłuż ścianki na obwodzie zbiornika).

5. Ocena objętości zalegających na dnie zbiornika osadów

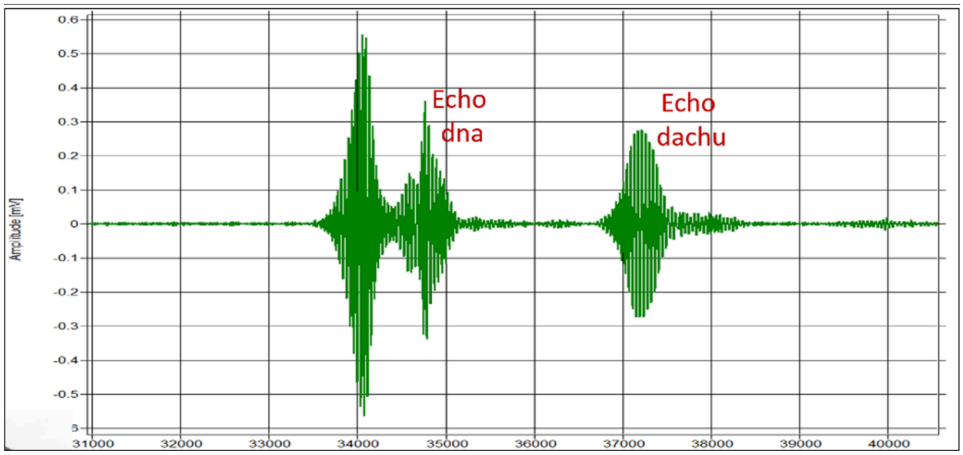
Wszystkie uzyskane dane pomiarowe wysokości osadów w określonych punktach na dnie, zarówno przy ściance, jak i wewnątrz zbiornika, analizowane są z wykorzystaniem interpolacji wielomianowej, co ostatecznie pozwala na przedstawienie kształtu i wizualizację przestrzenną osadów (rys. 7).

Określenie objętości osadów zalegających na dnie zbiornika, przeprowadza się poprzez wyznaczenie siatki podziału na elementy jednostkowe otrzymanego wykresu przestrzennego, kształtu osadów oraz numeryczne zliczanie objętości poszczególnych elementów wg ich wysokości (całkowanie numeryczne metodą prostokątów).

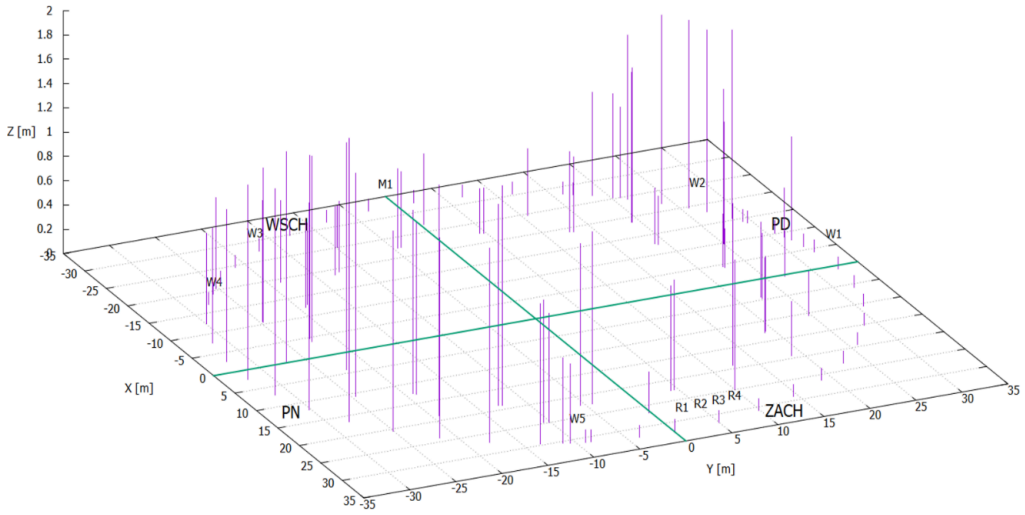
Wynikiem oceny poziomu i ilości osadów zalegających na dnie zbiornika magazynowego jest objętość osadów podawana w m^3 oraz wizualizacja przestrzenna osadów.

6. Weryfikacja wyników oceny wysokości osadów

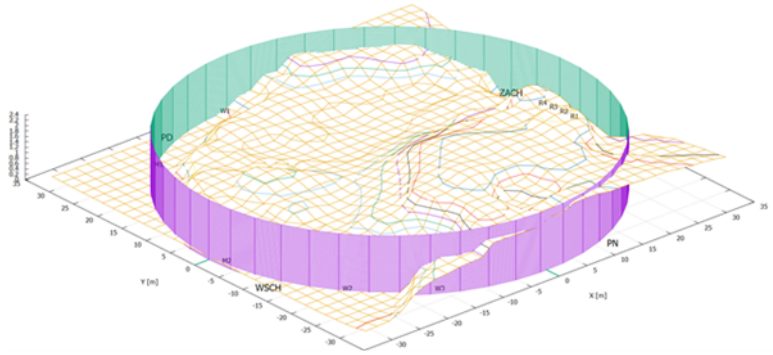
W ramach projektu przeprowadzono szereg weryfikacji wyników pomiarów i oceny wysokości osadów na dnie zbiorników magazynowych ropy naftowej. Wyniki oceny



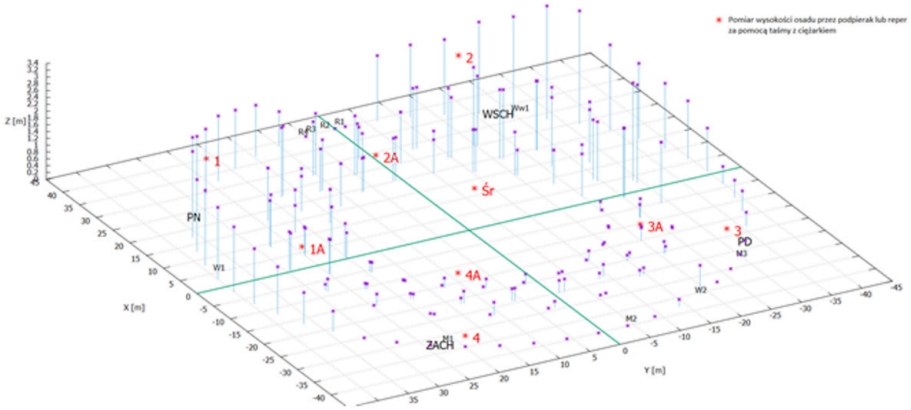
Rys. 5. Przykład przebiegu sygnału AE z echami fal od dna i dachu zbiornika dla czujników AE (nadajnik/odbiornik) na ściance
Fig 5. The example of AE signal waveform with wave propagation as well echoes from the bottom and roof of the tank for AE sensors (sender/receiver) on the wall



Rys. 6. Wizualizacja przestrzenna wysokości osadów w określonych punktach na dnie zbiornika
Fig 6. Spatial visualisation of the sludge heights at the measurement points on the bottom of the tank



Rys. 7. Wizualizacja przestrzenna kształtu osadów wraz z podziałem na elementy jednostkowe
Fig 7. Spatial visualisation of the sludge shape on the bottom of the tank with division into defined unit elements



Rys. 8. Wizualizacja wysokości osadów z naniesionymi punktami ręcznego pomiaru wysokości
Fig 8. Visualisation of sludge heights with marked points of manual height measurement

wysokości osadów weryfikowano, zarówno poprzez ręczny pomiar poziomu osadu w punktach, gdzie występowały króćce i włazy w dachach zbiorników magazynowych, jak również podczas otwarcia przez użytkownika zbiornika magazynowego (w ramach jego polityki remontowej). W wyniku weryfikacji potwierdzono, zarówno kształt, wysokość, jak i objętość osadów.

7. Podsumowanie

Opracowane w ramach projektu procedury i metodyki pomiarowe, jak również algorytmy obliczeniowe pozwalają na wizualizację kształtu osadów zalegających na dnie badanego zbiornika oraz określenie objętości tych osadów.

Zastosowanie zarówno techniki AE jak i metody termografii okazało się skutecznym narzędziem do wyznaczania wysokości osadów w określonych punktach wewnątrz badanego zbiornika magazynowego.

W oparciu wyniki projektu opracowano finalną wersję koncepcji systemu do oceny poziomu osadów, jak również przeprowadzono proces weryfikacji wyników z wynikiem pozytywnym.

Opracowano również opis wynalazku, który został zgłoszono do Urzędu Patentowego RP i zarejestrowany pod numerem zgłoszenia P.443197. Na rys. 8 pokazano przykład weryfikacji wysokości osadu poprzez ręczny pomiar taśmą z ciężarkiem w kilku punktach na dnie zbiornika.

8. Literatura

[1] M.Monteiro, V.Svet, D.Sandilands, S.Tsysar: Experimental Investigations of Various Methods of Sludge Measurements in Storage Oil Tanks, Advances in Remote Sensing, Vol. 4, 2015.
[2] H.Hooyberghs: "Pictures" the Emissions of Storage Tanks with the Use of Infrared Cameras. 6th Annual Aboveground Storage Tank Conference & Trade Show Houston, Houston, 2013.
[3] NDT Handbook – Third Edition Vol.6 – Acoustic Emission Testing, Editors: R.K.Miller, E.v.K.Hill and P.O.Moor, ASNT 2005.
[4] PN-EN 13554:2011 „Non-destructive testing – Acoustic emission – General principles".
[5] PN-EN 15856:2010 „Non-destructive testing – Acoustic emission – General principles of AE testing for the detection of corrosion within metallic surrounding filled with liquid".
[6] PN-EN ISO 18081:2016-08 "Non-destructive testing – Acoustic emission testing (AT) – Leak detection by means of acoustic emission".
[7] PN-EN ISO 6781-1:2024-02 „Performance of buildings – Detection of thermal, air and humidity abnormalities in buildings using the infrared method - Part 1: General procedures".
[8] ISO 18434-1:2008 "Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography – Part 1: General procedures".