

Ireneusz Baran\*, Marek Nowak, Tomasz Dunaj  
Urząd Dozoru Technicznego, Warszawa

# Badanie objętości osadu w zbiornikach ropy naftowej przy użyciu techniki AE i termografii

## Investigation of the level of sludge inside a tank with the techniques AE and thermography

### ABSTRACT

The article presents the techniques of AE and thermography to assess the level, volume and shape of sludge inside a storage tank. The thermographic method is used to assess the amount of sludge (height) along the tank's shell. In this case, the technique AE is used in a different way than usual. A special sensor system was used on the wall and roof of the tank. The sensors generate AE pulses in accordance with the established algorithm. The algorithm allows the recording of AE signals as a result of propagation and reflection of AE waves (including deposits) in the stored product between the sensors. Based on differences in the wave propagation time, sludge thickness is calculated at various points on the bottom of the tank.

**Keywords:** welding deformations; 3D scanning; structured-light method; laser scanning

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono techniki AE i termografii do oceny poziomu, objętości i kształtu osadów w zbiorniku magazynowym. Metoda termograficzna służy do oceny poziomu osadu (wysokości) wzdłuż płaszcza zbiornika. Technika AE jest w tym przypadku wykorzystywana w inny sposób niż zwykle. Zastosowano specjalny układ czujników na ścianie i dachu zbiornika. Czujniki generują impulsy AE zgodnie z ustalonym algorytmem, który pozwala na rejestrację sygnałów AE w wyniku propagacji fal i odbicia fal AE (w tym od osadów) w magazynowanym produkcie pomiędzy czujnikami. W oparciu o różnice w czasie propagacji fal są obliczane wysokości osadu w różnych punktach na dnie zbiornika.

**Słowa kluczowe:** odkształcenia spawalnicze; skanowanie 3D; metoda światła strukturalnego; skanowanie laserowe

### 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 gromadzą 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 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 roku 2017 w Urzędzie Dozoru Technicznego otwarty został projekt na opracowanie systemu do oceny poziomu i ilości osadów w zbiornikach magazynowych ropy naftowej, z wykorzystaniem techniki AE i termografii. W ramach realizacji projektu, UDT podjął współpracę z firmą PERN S.A.

### 2. Projekt systemu do oceny poziomu osadów w zbiornikach magazynowych

Geneza i przyczyna realizacji pracy oparte są na następujących potrzebach:

- oczekiwania użytkowników/właścicieli baz magazynowych (baz magazynowych ropy naftowej) – zbiorniki magazynowe ropy naftowej wymagają monitorowania i odpowiednich praktyk w eksploatacji, aby zapobiegać powstawaniu osadów,
- jednostka/laboratorium wykonujące badania metodą AE musi posiadać wiedzę na temat poziomu osadów w zbiorniku - konieczna jest ocena poziomu osadu przed rozpoczęciem badania AE dna zbiornika, zgodnie z procedurami i odpowiednimi normami.

W roku 2017 w Urzędzie Dozoru Technicznego otwarty został projekt na opracowanie systemu do oceny poziomu i ilości osadów w zbiornikach magazynowych ropy naftowej, z wykorzystaniem techniki AE i termografii. W ramach realizacji projektu, UDT podjął współpracę z firmą PERN S.A.

Celem projektu jest zbudowanie koncepcji i prototypu

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

systemu do oceny poziomu i ilości osadów na dnie zbiornika magazynowego ropy naftowej. W założeniu system będzie wykorzystywał 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 dotychczasowych działań w projekcie opracowano szereg procedur pomiarowych, tj. badań z wykorzystaniem połączonych metod pomiarowych: metody emisji akustycznej (AE) oraz metody termowizji w połączeniu z bezstykowym pomiarem temperatury.

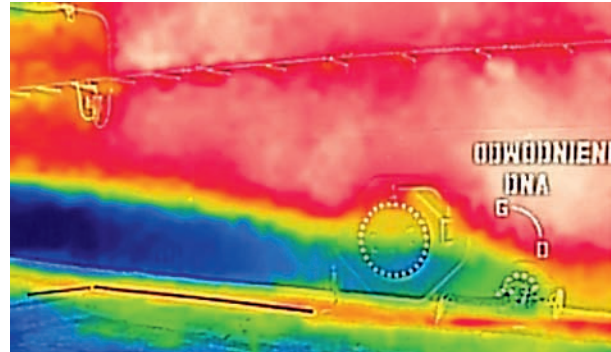
Celem tych badań jest zebranie danych pomiarowych wysokości zalegania osadów w punktach wzdłuż ścianki na obwodzie oraz w punktach na dnie wewnątrz zbiornika. Zebrane dane w postaci bazy pomiarowej pozwalają w efekcie końcowym na wizualizację przestrzenną (mapę osadów) oraz ocenę poziomu i ilości (objętości) osadów zalegających na dnie zbiornika magazynowego.

### 3. Termowizja i pomiary temperatury ścianki w ocenie poziomu osadów

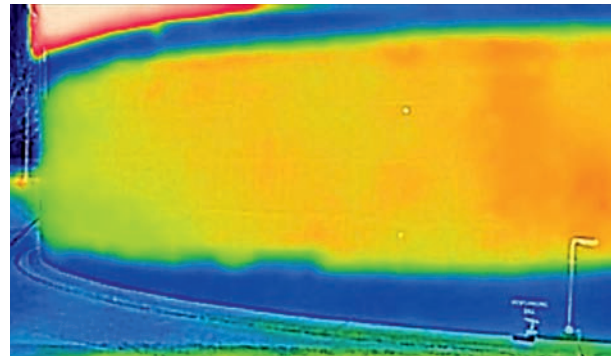
Zastosowanie termografii do oceny poziomu osadów wzdłuż płaszcza zbiornika jest już znaną metodą i wielokrotnie opisywaną w różnych publikacjach. Różnice temperatur wynikają z różnic gęstości środowisk, a w efekcie ich własności termicznych, co pozwala na wyznaczenie linii przejścia z ciekłej ropy naftowej 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.

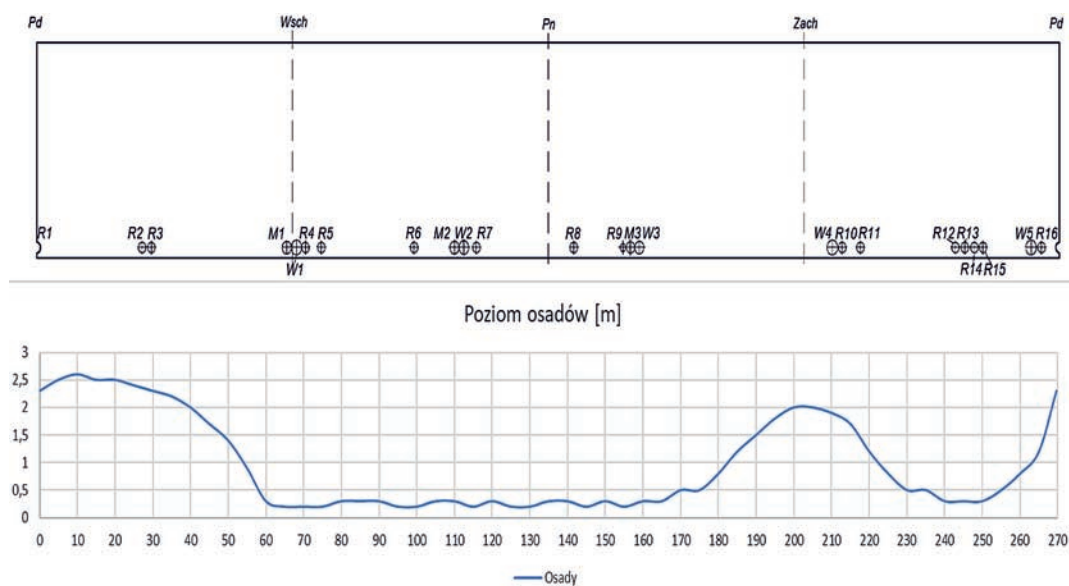
W ramach projektu przeprowadzono szereg badań termograficznych i pomiarów temperatur, mających na celu wyznaczenie linii osadów wzdłuż płaszcza zbiornika magazynowego. Na rys. 1 i 2 poniżej przedstawiono przykłady termogramów ze zbiorników z osadami na dnie.



Rys. 1. Termogram płaszcza zbiornika z widoczną linią osadów  
Fig. 1. Thermographic image of the storage tank shell with visible line of the sludge level

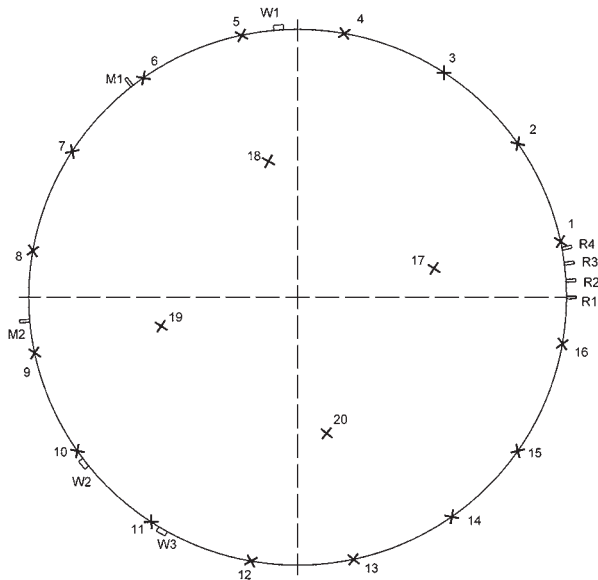


Rys. 2. Termogram płaszcza zbiornika z widoczną linią osadów i linią poziomu magazynowanego produktu  
Fig. 2. Thermographic image of the storage tank with the visible line of the sludge level and the level of the stored product



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

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.



Rys. 4. Przykładowy ogólny schemat rozmieszczenia czujników AE na badanym zbiorniku

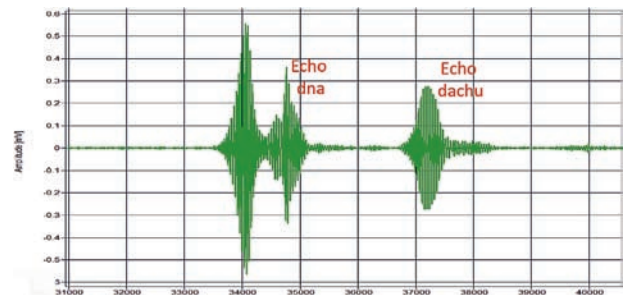
Fig. 4. Exemplary general schema of AE sensors placement in the examined tank

#### 4. Technika AE w wyznaczaniu wysokości osadów wewnątrz zbiornika

Technika AE jest w tym przypadku wykorzystywana w inny sposób niż standardowo. Stosowany jest specjalny układ i rozmieszczenie czujników na ścianie i dachu zbiornika (rys. 4). Czujniki na przemian generują impulsy i rejestrują sygnały

AE 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 wyznaczenie wysokości osadów w określonych punktach na dnie zbiornika (rys. 6).

Na rys. 4 pokazano przykład rozmieszczenia czujników pomiarowych AE podczas wykorzystywania techniki AE do pomiarów wysokości osadów. Na rys. 5 pokazano przykład przebiegu sygnału AE z echemi fal od dna i dachu zbiornika. Na rys. 6 przedstawiono wizualizację przestrzenną danych pomiarowych wysokości osadów w określonych punktach na dnie zbiornika.



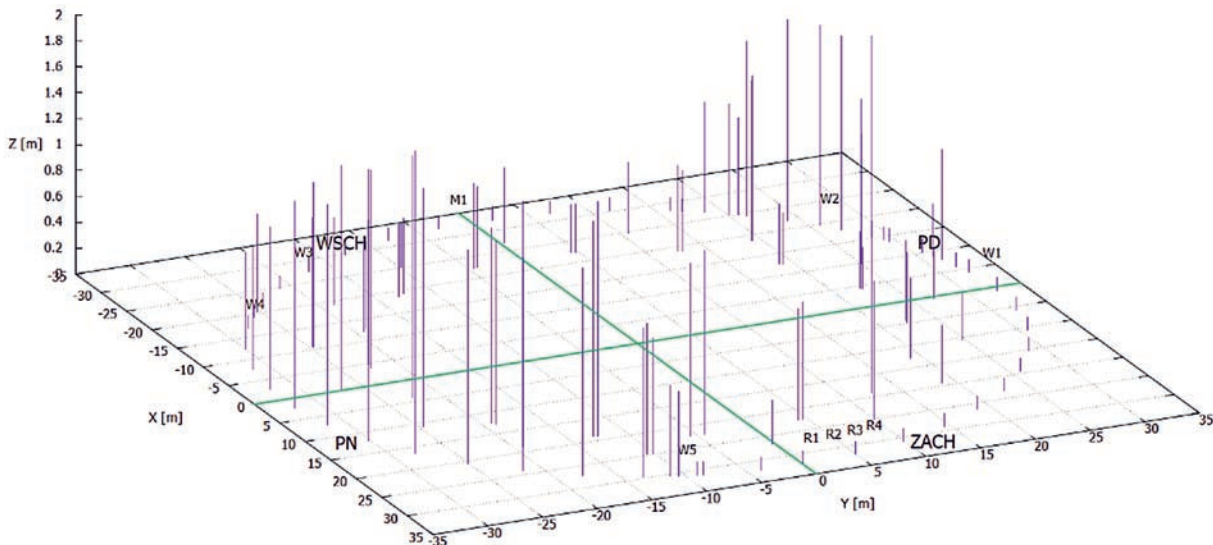
Rys. 5. Przykład przebiegu sygnału AE z echemi fal od dna i dachu zbiornika

Fig. 5. Example of the AE signal with echo wave reflected from the bottom and roof of the tank

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

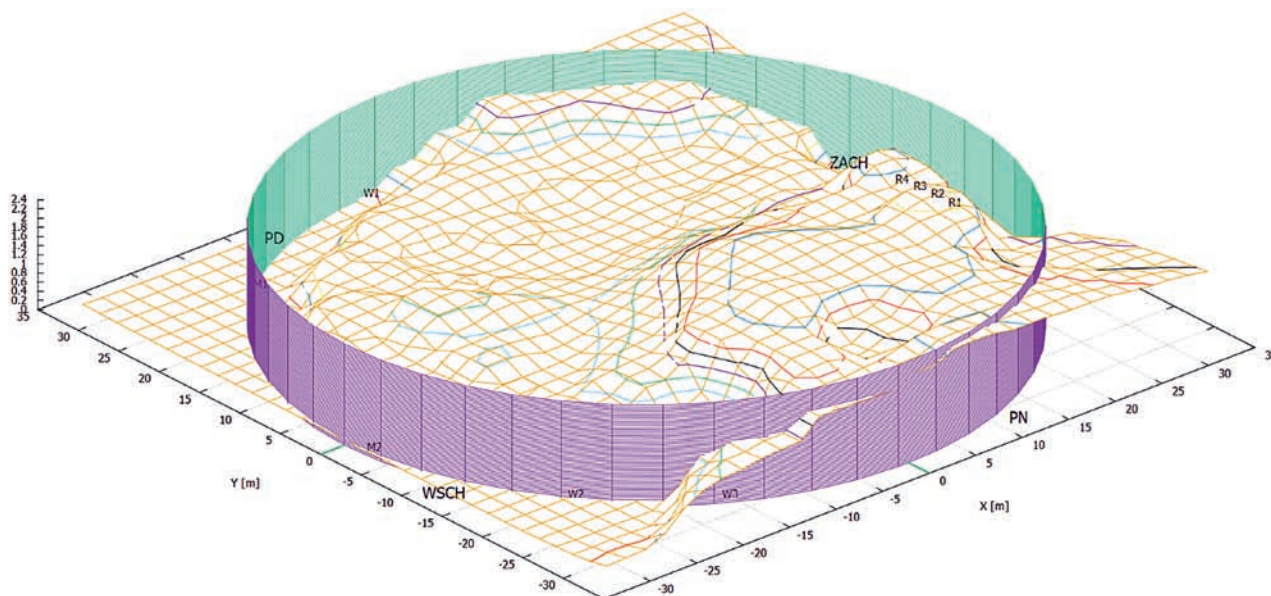
#### 5. Ocena objętości zalegających na dnie zbiornika osadów

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



Rys. 6. Wizualizacja przestrzenna wysokości osadów w określonych punktach na dnie zbiornika

Fig. 6. Visualization of the spatial distribution of sludge level in the desired areas on the bottom of the tank



Rys. 7. Wizualizacja przestrzenna kształtu osadów wraz z podziałem na elementy jednostkowe  
Fig. 7. Spatial visualization of the shape of sludge with the division into individual elements

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) – przykład podziału i wizualizację przestrzenną osadów pokazano na rysunku 7.

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

## 6. Podsumowanie

Opracowane na tym etapie 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.

## 7. Literatura/References

- [1] M.Monteiro, V.Svet, D.Sandilands, S.Tsytar: 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] I.Baran, G. Lackner: Analysis of Corrosion Processes and Leaks in Aboveground Storage Tanks with AE Monitoring, EWGAE 2012;
- [4] NDT Handbook - Third Edition Vol.6 - Acoustic Emission Testing, Editors: R.K.Miller, E.v.K.Hill and P.O.Moor, ASNT 2005.
- [5] PN-EN 1330-9:2017-09 „Non-destructive testing - Terminology - Part 9: Terms used in acoustic emission testing”.
- [6] PN-EN 13554:2011 „Non-destructive testing - Acoustic emission testing - General principles”.
- [7] 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”.
- [8] PN-EN ISO 18081:2016-08 “Non-destructive testing - Acoustic emission testing (AT) - Leak detection by means of acoustic emission”.

- 1) Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska
- 2) Jacek Słania, Instytut Spawalnictwa, Gliwice
- 3) Jakub Kowalczyk, Politechnika Poznańska
- 4) Marek Lipnicki, Koli Sp. z o.o., PTBNI DT SIMP
- 5) Piotr Bielawski, Akademia Morska w Szczecinie
- 6) Ryszard Pakos, ZUT w Szczecinie
- 7) Krzysztof Schabowicz, Politechnika Wroclawska
- 8) Przemysław Łopato, ZUT w Szczecinie
- 9) Jerzy Nowacki, ZUT w Szczecinie
- 10) Krzysztof Stawicki, ZUT w Szczecinie
- 11) Sławomir Mackiewicz, IPPT PAN, Warszawa
- 12) Barbara Grochowalska, ZUT w Szczecinie
- 13) Grzegorz Świt, Politechnika Świętokrzyska
- 14) Maciej Roskosz, AGH w Krakowie
- 15) Daniel Grochała, ZUT w Szczecinie
- 16) Adam Sajek, ZUT w Szczecinie