

# Wstępna metoda klasyfikacji stopnia uszkodzenia dna zbiorników na produkty ropopochodne spowodowanego korozją z wykorzystaniem emisji akustycznej

## Preliminary classification method of damage, of the tanks for petroleum products bottoms caused by corrosion, with use of acoustic emission

Grzegorz Świt, Wiesław Trąmpczyński

*Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Betonowych,  
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska  
Al. 100-lecia PP 7, 25-323 Kielce  
e-mail: wtramp@tu.kielce.pl*

*Department of Strength of Materials and Concrete Structures  
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Technological University of Kielce  
Al. 100-lecia PP 7, 25-323 Kielce  
e-mail: wtramp@tu.kielce.pl*

---

### Streszczenie

W pracy przedstawiono zastosowanie metody pomiaru emisji akustycznej do wstępnej oceny stopnia uszkodzenia oraz lokalizacji miejsc o podwyższonym ryzyku eksploatacji, wywołanego skutkami korozji w przypadku obszarów trudno dostępnych na przykładzie oceny korozji dna zbiorników na produkty ropopochodne. Brak dostępu utrudnia przeprowadzenie inspekcji i ocenę stopnia uszkodzenia w trakcie eksploatacji a wyłączenie instalacji z użytkowania powoduje duże straty ekonomiczne. Zastosowanie metody AE pozwoliło na wstępną ocenę stopnia uszkodzenia zgodnie z kryteriami zaproponowanymi w [1] oraz kryteriami AE wynikającymi z wieloletnich badań autorów artykułu. Oparto ją na analizie sumy sygnałów emisji akustycznej zarejestrowanych podczas godzinowego monitoringu oraz wybranych parametrów EA: amplituda, energia, czas trwania, co pozwoliło na zaliczenie zbiornika do jednej z pięciu kategorii uszkodzenia: A – E. Przypisanie odpowiedniej kategorii zbiornikowi pozwala na wstępną ocenę stopnia skorodowania i wyznaczenie terminu następnej kontroli.

### Abstract

In the paper, application of the acoustic emission method is presented for location and initial assessment of the extent of damage, caused by the effects of corrosion in the case of hard-to-reach areas. As an example, the evaluation of the corrosion of the bottom of the tanks on the petroleum products, has been examined. Lack of access makes it more difficult for inspection and evaluation of the extent of damage during exploitation and to exclude the installation from the operation causes large economic losses. AE method allowed for a preliminary assessment of the extent of damage in accordance with the criteria proposed in [1] and criteria resulting from years of research done by the authors of the article. It is based on an analysis of acoustic emission signals registered during the one hour monitoring of selected AE parameters: amplitude, energy and duration. I allowed the classification of a tank to one of five categories: (A) to (E). It allows for a preliminary assessment of the degree of corrosion, and to specify a date for the next inspection.

*Słowa kluczowe: konstrukcje metalowe, miejsca trudno dostępne, korozja, stopień uszkodzenia, emisja akustyczna*  
*Keywords: steel structures, hard-to-reach areas, corrosion, extent of damage, acoustic emission*

### 1. Wstęp

W czasie eksploatacji naziemnych zbiorników na produkty ropopochodne elementy ich konstrukcji ulegają uszkodzeniom korozyjnym. Szczególnie niebezpieczna jest korozja dna, gdyż brak dostępu do obu jego powierzchni utrudnia przeprowadzenie inspekcji i ocenę stopnia uszkodzenia. Prognozowanie trwałości dna zbiornika i jego podatności na dalsze uszkodzenia korozyjne jest również trudne ze względu na wielorakość czynników mających zasadniczy wpływ na procesy korozji. W efekcie w poszyciu dna tego samego zbiornika mogą wystąpić różne rodzaje uszkodzeń korozyjnych, co w sposób istotny komplikuje ocenę stopnia uszkodzenia, wybór sposobu naprawy a także prognozy dotyczące czasu dalszej eksploatacji.

Podstawową metodą, jaką zastosowano w tej pracy jest analiza emisji akustycznej. Polega ona na rejestracji i analizie

### 1. Introduction

During exploitation of the ground tanks for petroleum products they undergo corrosion damages. Especially dangerous is the corrosion of the bottom, since lack of access to both its surface makes it more difficult for inspection and evaluation of the extent of damage. Forecasting the durability of the bottom of the tank and its susceptibility to further corrosion damage is also difficult due to the multitude of factors which impact on the processes of corrosion. As a result, the bottom in of the same tank, you may experience different types of corrosive damage, which significantly complicates the assessment of the extent of damage, the choice of how to repair as well as forecasts for further exploitation time.

The method, which was used in this work is the analysis of acoustic emissions. It consists in the registration and analysis of elastic waves generated by processes associated with corroding.

fal sprężystych generowanych przez procesy towarzyszące korozji. Są to głównie reakcje chemiczne oraz pękanie produktów korozji. Emisja akustyczna towarzyszy jedynie procesom aktywnym, rozwijającym się. Nie występuje natomiast w przypadku uszkodzenia korozyjnego stabilnego, to znaczy gdy nie powiększa się ono, a produkty korozji nie zmieniają swojej struktury.

Celem badań było wykrycie czynnych ognisk korozyjnych dna stalowych zbiorników służących do magazynowania oleju napędowego. Analizie szczegółowej poddano dwa zbiorniki, a badanie polegało na rejestracji sygnałów EA, podczas normalnej eksploatacji badanego obiektu.

## 2. Metoda pomiarowa

W ocenie stopnia uszkodzenia zastosowano zmodyfikowane kryteria podane w [1]. Oparto je na analizie sumy sygnałów emisji akustycznej zarejestrowanych podczas godzinowego monitoringu oraz wybranych parametrów AE: amplituda, energia, czas trwania. Zgodnie z przyjętymi kryteriami w zależności od zarejestrowanej liczby zdarzeń akustycznych zbiornik zaliczany jest do jednej z pięciu kategorii uszkodzenia: A – E. Przypisanie odpowiedniej kategorii zbiornikowi pozwala na wstępną ocenę stopnia skorodowania. Zgodnie z opracowaną klasyfikacją zbiorników i doświadczeniem zdobytym na podstawie przeprowadzonych badań przyjęto cztery stopnie skorodowania zbiornika (Tabela 1). Przyjęte kryteria pozwalają na przybliżoną ocenę stanu technicznego dna zbiornika jak i na określenie harmonogramu kolejnych przeglądów względnie napraw.

Do badania zastosowano rezonansowe czujniki emisji akustycznej częstotliwości 55 kHz. Przed przystąpieniem do właściwego pomiaru przeprowadzono kalibrację czujników polegającą na zarejestrowaniu wzorcowego sygnału, wygenerowanego w określonej odległości od czujnika AE. Jako sygnał wzorcowy zastosowano sygnał akustyczny towarzyszący złamaniu grafitu ołówka na powierzchni badanego obiektu. W ten sposób sprawdzono poprawność pracy systemu pomiarowego.

## 3. Wyniki pomiarów

### 3.1. Zbiornik 1

Zbiornik 1, o średnicy 22 800 mm, przeznaczony jest do magazynowania oleju napędowego. Płaszcz zbiornika izolowany wełną mineralną i blachą trapezową, jest posadowiony na fundamencie i pośrednio na gruncie. Na płaszczu zbiornika umieszczono w sześciu miejscach czujniki emisji akustycznej na wysokości 0,70 m od dna zbiornika, co pokazano na rysunku nr 1. Czujniki oznaczono odpowiednio cyframi 1 do 6.

W trakcie pomiaru rejestrowano podstawowe parametry sygnałów emisji akustycznej. Analizę oparto na podstawie sumy zdarzeń. Pozostałe parametry: czas trwania sygnału, amplituda sygnału oraz energia sygnału w ocenie spełniają rolę pomocniczą. Do analizy wybrano czujniki o najwyższej aktywności akustycznej leżące naprzeciw siebie, czyli czujniki nr 1 i nr 4.

W okresie 60 minut czujnik nr 1 zarejestrował 637 zdarzeń, a czujnik nr 4 - 587. Średnia wartość liczby zdarzeń rejestrowanych przez czujniki wynosiła 610 sygnałów.

These are essentially chemical reactions and cracking corrosion products. Acoustic emission accompanied by only the active processes. It does not appear in the case of stable damage, it means when it doesn't grow, and corrosion products do not change its structure.

The aim of the study was to detect active corrosive damage of steel storage diesel tank bottoms. A detailed analysis has been subjected to two tanks, and a study was based on AE signals registration, during service load.

## 2. The measurement method

In assessing the extent of damage were applied modified criteria given in [1]. It is based on an analysis of the sum of acoustic emission signals registered during the one hour monitoring of selected AE parameters: amplitude, energy and duration. In accordance with established criteria, depending on the number of recorded acoustic events, tank is qualified to one of five categories: (A) to (E). The classification of the tank to appropriate category allows for a preliminary assessment of the degree of corrosion. According to the classification developed and experience gained on the basis of the authors studies, four degrees of corrosion of the tank bottom were assumed (Table 1). Such criteria allow an approximate assessment of the condition of the bottom of the tank and to specify the schedule for the subsequent inspection or repair.

To test were used a resonant acoustic emission sensors having frequency 55 kHz. Before proceeding the appropriate measuring, sensors calibration has been carried out. It was standard signal registration which was generated at a certain distance from the AE sensor. As a reference signal was used acoustic signal that accompany the broken pencil graphite on the surface of the test object. In this way, the correctness of the system was verified.

## 3. Experimental results

### 3.1. Tank 1

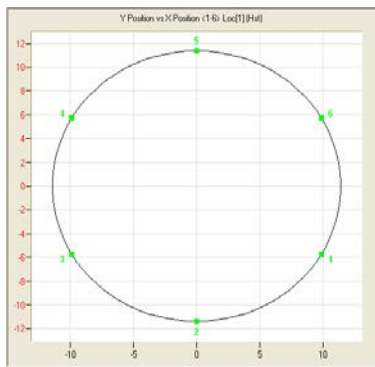
Tank 1, diameter 22 800mm, is designed for the storage of diesel fuel. It is built on a foundation, and indirectly on the ground and mineral wool insulates tank jacket and decking. On a tank was placed in six places acoustic emission sensors at a height of 0,70 m from the bottom of the tank, as shown in Figure 1. Sensors are marked in numbers 1 to 6.

During measurements, the basic AE signals parameters were recorded. The analysis was based on the sum of events. Other parameters: duration, the amplitude of the signal and the signal energy in the evaluation as a secondary. For analysis were chosen sensors with highest acoustic activity lying facing each other, i.e. the sensors No 1 and no 4.

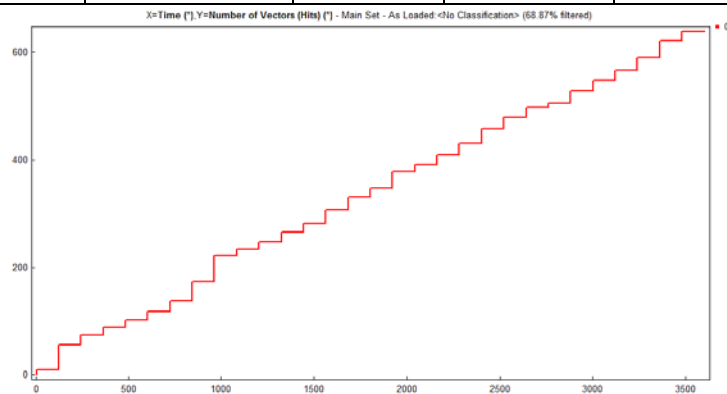
In the period of 60 minutes, the sensor No. 1 registered 637 events, the sensor No. 4 - 587. The mean number of events recorded by sensors was 610.

Tabela 1. Przyjęta klasyfikacja zbiorników w zależności od wybranych parametrów AE.  
 Table 1. Classification of tanks depending on selected AE parameters

Klasa zbiornika / tank class	Średnia liczba zdarzeń AE / average AE events	Amplituda / Amplitude [dB]	Energia AE / AE energy [msv/count]	Czas trwania sygnału AE / Duration [ms]
<b>A</b> - brak ognisk korozyjnych lub niewielkie ogniska korozyjne, następne badanie po 5 latach / Lack of or small corrosion centre, next investigation after 5 years.	<400	40-60	<10	<5000
<b>B</b> - brak ognisk korozyjnych lub niewielkie ogniska korozyjne, następne badanie po 5 latach / Lack of or small corrosion centre, next investigation after 5 years.	<1500	40-60	<50	<50 000
<b>C</b> - niewielkie ogniska korozyjne na znacznej powierzchni dna. Ewentualnie wymiana częściowa dna jeżeli taka możliwość istnieje. Następne badanie po 3 latach/ small number of corrosion centre within a substantial bottom surface. If possible, partial replace of the bottom. Next investigation after 3 years.	<3000	40-80	<200	<100 000
<b>D</b> - Znaczna korozja dna zbiornika. Ewentualna wymiana częściowa lub całkowita blach dna. Remont należy przeprowadzić w ciągu 1 roku. W przypadku remontu częściowego przeprowadzić lokalizację pełną uszkodzeń metodą emisji akustycznej / significant corrosion of the bottom. Partial or total removal of the bottom sheets. Necessary major repair after 1 year. If partial repair then full localisation of corrosion sources using AE is necessary.	<5000	40-70	<500	<150 000
<b>E</b> - dno skorodowane z wyraźnymi zmianami struktury blach dna zbiornika. Zbiornik przeznaczony do natychmiastowego remontu i całkowitej wymiany dna / corroded bottom with significant changings of the bottom sheets structures. The tank is designed to a complete overhaul.	>5000	40-50	>500	>150 000



Rys.1. Rozmieszczenie czujników  
 Fig.1 Location of sensors



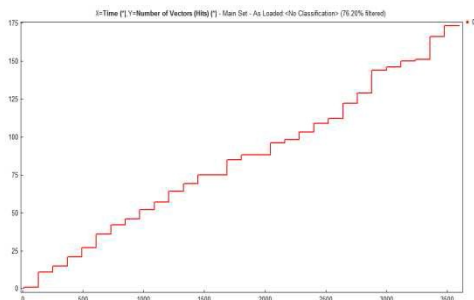
Rys.2. Suma zdarzeń w funkcji czasu zarejestrowana przez czujnik 1  
 Fig.2. Sum of acoustic events registered by sensor 1 as a function of time

Zarejestrowane parametry w obrębie czujników oznaczonych jako 1 i 4 wskazują, iż w zbiorniku odbywa się stopniowy proces destrukcyjny związany ze zjawiskiem korozji dna zbiornika. W prezentowanym przypadku zarejestrowano sygnały o amplitudzie do 65 dB o stosunkowo niedużej energii i krótkim czasem trwania

Rozwijający się proces korozyjny jest we wstępnym etapie i obejmuje niewielkie obszary dna zbiornika, jednakże wskazuje to na potrzebę dalszego monitorowania jego stanu technicznego.

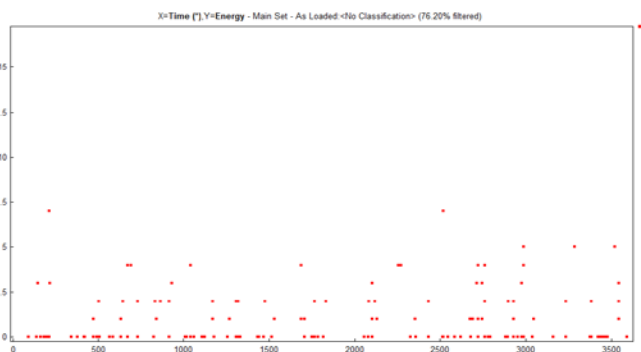
Registered parameters within sensors marked as 1 and 4 show that gradual destructive process due to phenomenon of the corrosion of the bottom of the tank. In the presented case, signals of the amplitude up to 65 dB, relatively small energy and with short duration were recorded.

The developing corrosion process is in the preliminary stage and covers relatively small areas of the tank bottom, however it is pointing out to the need of further monitoring his technical condition



Rys.3. Suma zdarzeń w funkcji czasu zarejestrowana przez czujnik 3

Fig 3. The sum of acoustic events re as a function as a function of time registered by sensor 3



Rys. 4. Punktowy wykres energii sygnału EA w funkcji czasu zarejestrowany przez czujnik 3

Fig.4 The spot graph of the energy of the EA signal as a function of time registered by sensor 3

### 3.2 Zbiornik 2

Zbiornik 2, o średnicy 25 000 mm i budowie analogicznej jak Zbiornik 1, przeznaczony również do magazynowania oleju napędowego. Na płaszczy zbiornika umieszczono w sześciu miejscach czujniki emisji akustycznej na wysokości 0,70 m od dna zbiornika (Rys.1) i oznaczono odpowiednio cyframi 1 do 6.

Jak poprzednio, w trakcie pomiaru rejestrowano podstawowe parametry sygnałów emisji akustycznej. Analizę oparto o sumę zdarzeń. Do analizy wybrano czujniki o najwyższej aktywności akustycznej leżące naprzeciw siebie, czyli czujniki nr 3 i nr 6. Pozostałe parametry: czas trwania sygnału, amplituda sygnału oraz energia sygnału w ocenie spełniają rolę pomocniczą. Na Rys.4 pokazano przykładowo punktowy wykres energii sygnału EA w funkcji czasu zarejestrowany przez czujnik 3

Jak pokazano na wykresie przedstawionym na Rys. 3, w okresie 60 minut czujnik nr 3 zarejestrował 173 zdarzeń. Czujnik nr 6 w tym samym czasie zarejestrował 155 zdarzeń i średnia wartość liczby zdarzeń rejestrowanych przez czujniki wynosiła 164 sygnałów. Intensywność emisji akustycznej zarejestrowanej przez czujniki jest stała w czasie.

## 4. Wnioski

Zbiornik 1 - Klasa zbiornika B – średnia liczba sygnałów akustycznych < 1500, niewielkie ogniska korozyjne. Zbiornik zakwalifikowany do następnego przeglądu za 3 lata

Zbiornik 2 - Klasa zbiornika A – średnia liczba sygnałów akustycznych < 400, niewielkie ogniska korozyjne i nieszczelne zawory. Zalecana szczególna uwaga przy zmianie magazynowanego medium (możliwy wzrost procesów korozyjnych). Zbiornik zakwalifikowany do następnego przeglądu za 2 lat (ze względu na rozbieżności w pomiarach wiosna – jesień).

Przedstawiona metoda pomiaru emisji akustycznej okazała się bardzo skuteczną, umożliwiającą ocenę stopnia uszkodzenia spowodowanego korozją w przypadku obszarów trudno dostępnych.

## Literatura • References

- [1] P.J. van de Loo, D.A. Kronemeijer (2000) „Screening of tank bottom corrosion with a single point AE detector: AE- simple”, Journal of Acoustic Emission No 18 pp.174-180

### 3.2 Tank 2

Container 2, diameter 25 000 mm and construction analogous as Container 1, intended also to store diesel oil. On a tank was placed in six places acoustic emission sensors at a height of 0,70 m from the bottom of the tank, as shown in Fig. 1. Sensors are marked in numbers 1 to 6.

As before, during measurements, the basic AE signals parameters were recorded. The analysis was based on the sum of events. Other parameters: duration, the amplitude of the signal and the signal energy in the evaluation as a secondary. For analysis were chosen sensors with highest acoustic activity lying facing each other, i.e. the sensors No 3 and No 6. In Fig. 4, as an example, the spot graph of the energy of the EA signal as a function of time registered by sensor No 3 is shown.

As it is shown in Fig.3, in the period of 60 minutes, the sensor No. 3 registered 173 events. The sensor No. 4 in this same time registered 157 events. The mean number of events recorded by sensors was 164. Intensity of registered acoustic emissions through sensors is permanent in the time.

## 4. Conclusions

Container 1- class of the container B - average number of acoustic signals < 1500, small corrosion sources. Container categorised for the next inspection in 3 years

Container 2 - Class of the container B - average number of acoustic signals < 400, , small corrosion sources, leaky valves. Particular attention recommended in the case of changing the medium stored (the possible rise of corrosion processes). Container categorised for the next inspection in 2 years (on account of discrepancies in measurements spring – autumn).

The presented method of measurement of acoustic emissions turned out to be very effective, enabling the assessment of the degree damage caused by corrosion, in case of areas hard to reach.