

OCENA AKTUALNEGO STANU TECHNICZNEGO DŁUGOTRWALE EKSPLOATOWANYCH ZBIORNIKÓW POWIETRZA Z WYKORZYSTANIEM ZJAWISKA EMISJI AKUSTYCZNEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono zakres i wyniki badań przydatności użytkowej kulistych zbiorników na sprężone powietrze, długotrwale eksploatowanych, w tym ultradźwiękowych, endoskopowych oraz hydraulicznych badań wytrzymałościowych z pomiarem sygnałów emisji akustycznej oraz sposobem lokalizacji i identyfikacji ich źródła.

APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION METHOD FOR EVALUATION OF EXISTING TECHNICAL STATUS FOR AIR CONTAINERS AFTER THE LONG TERM USE

Abstract: Experimental tests with results on evaluation of possibilities for further use of spherical containers for suppressed air which were subjected to long term use are presented in the paper. There were carried out ultrasound and endoscope tests and also hydraulic strength tests with the measurement of acoustic emission signals and a method for localisation and identification of their sources.

1. Wstęp

Przedmiotem badań były zbiorniki długotrwale (kilkadziesiąt lat) eksploatowane, najczęściej utrzymywane pod ciśnieniem konserwacyjnym 4,0 MPa lub jednostkowo napełniane sprężonym powietrzem do ciśnienia (25,0 – 30,0) MPa.

W celu oceny aktualnego stanu technicznego tych zbiorników i możliwości dalszej bezpiecznej ich eksploatacji przeprowadzono następujące badania:

- badania ultradźwiękowe;
- badania endoskopowe;
- hydrauliczne badania wytrzymałościowe z pomiarem sygnałów emisji akustycznej.

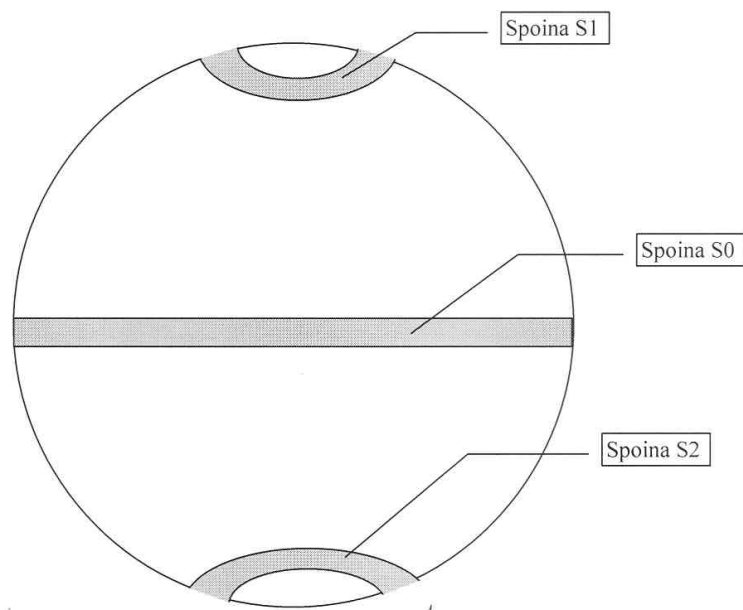
W wyniku przeprowadzonych oględzin zewnętrznych nie stwierdzono żadnych wad zbiorników, zarówno połączeń spawanych jak i materiału rodzimego.

W dalszej części artykułu omówione zostały wyniki poszczególnych badań.

2. Badania ultradźwiękowe

Celem badań ultradźwiękowych zbiorników powietrza było wykrycie ewentualnych wad typu: pęknięcia, brak przetopu, pęcherze, wtrącenia, wżery. Dodatkowo sprawdzono materiał ścianek zbiorników w sąsiedztwie spoin ze względu na ewentualne ubytki grubości i rozwarstwienia.

Na Rys.1 przedstawiono w sposób poglądowy położenie spoin na badanym zbiorniku.



Rys.1. Szkic zbiornika z zaznaczonym położeniem spoin S0, S1 i S2.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- o grubość ścianek badanych zbiorników zawiera się w granicach od 5,5 do 6,2 mm;
- o materiał ścianek zbiorników w sąsiedztwie spoin nie wykazywał rozwarstwień ani innych wad materiałowych;
- o badane spoiny spełniały wymagania najwyższej klasy jakości B, wg PN-EN ISO 5817-wymagania ostre.

3. Badania endoskopowe

Celem badań endoskopowych było wykonanie oględzin wewnętrznych ścianek zbiorników i połączeń spawanych dla ujawnienia ewentualnych ognisk korozji, uszkodzeń mechanicznych oraz ocena jakości spoin.

Przykładowy widok powierzchni wewnętrznych przedstawiono na Rys. 2.



Rys.2. Zbiornik nr 3044, widoczny spaw obwodowy oraz połączenie spawane króćca napełniania, przetop pełny.

4. Hydrauliczne badania wytrzymałościowe z pomiarem sygnałów emisji akustycznej

Normatywy eksploatacyjne:

- o dopuszczalna ilość napełnień zbiornika: do 32, w tym nie więcej niż 10 napełnień do ciśnienia 36,5 MPa;
- o robocze ciśnienie powietrza w zbiorniku kulistym w porze letniej, w temperaturze + 20°C powinno wynosić: $27,5_{-0,5}^{+1,0}$ MPa.

W celu sprawdzenia wytrzymałości zbiornika wykonano, na specjalnym stanowisku, próbę wytrzymałościową na ciśnienie wymagane przepisami Dozoru Technicznego, tj.:

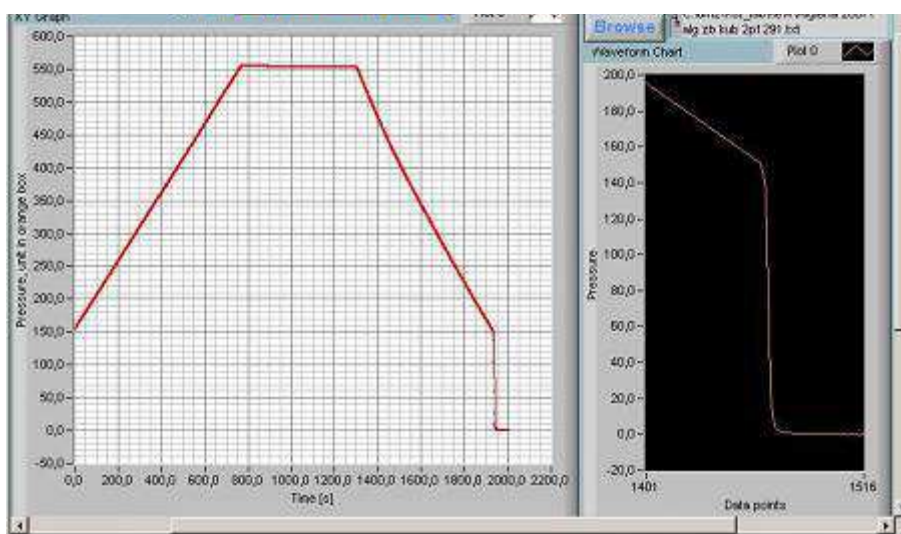
$$P_p = 1,5 P_r$$

gdzie:

P_p – ciśnienie próby;

P_r – maksymalne ciśnienie robocze.

Dla ciśnienia roboczego 36,5 MPa ciśnienie próby wynosi $P_p=55$ MPa.



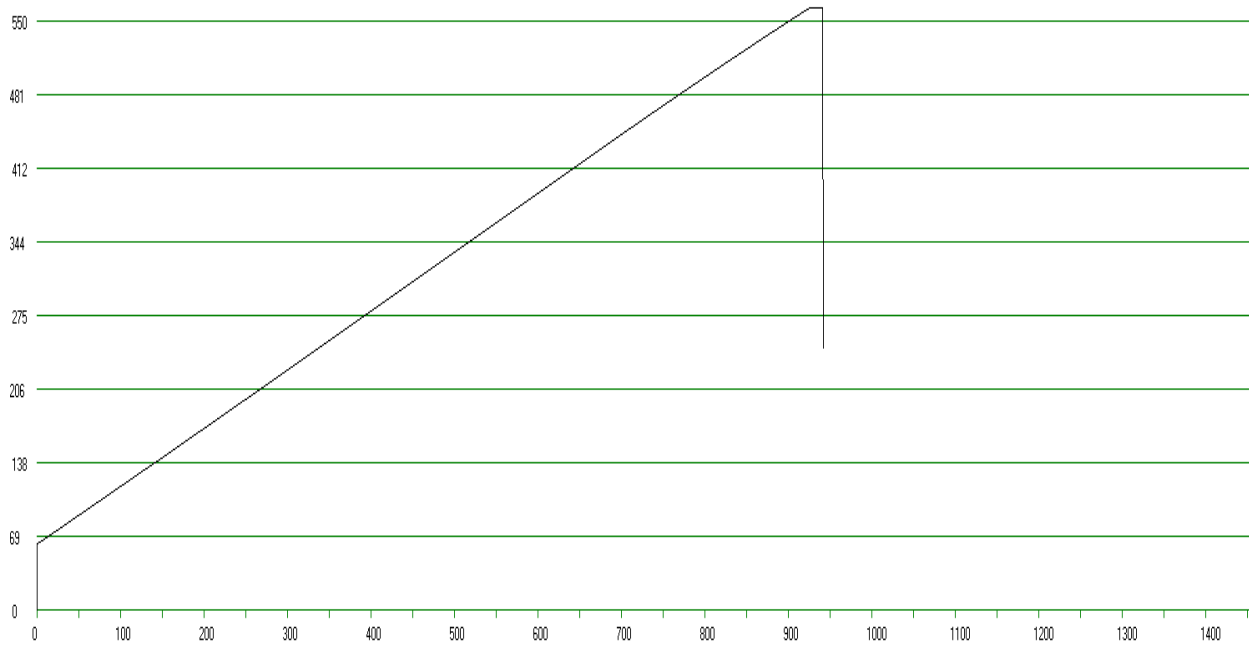
Rys.3. Przykładowy zapis zmian wartości ciśnienia.

W celu monitorowania powstawania i rozwoju ewentualnych mikropęknięć pod wpływem narastającego ciśnienia wewnętrznego, wykorzystano zjawisko emisji akustycznej mierząc jej sygnały pochodzące z różnych miejsc zbiornika.

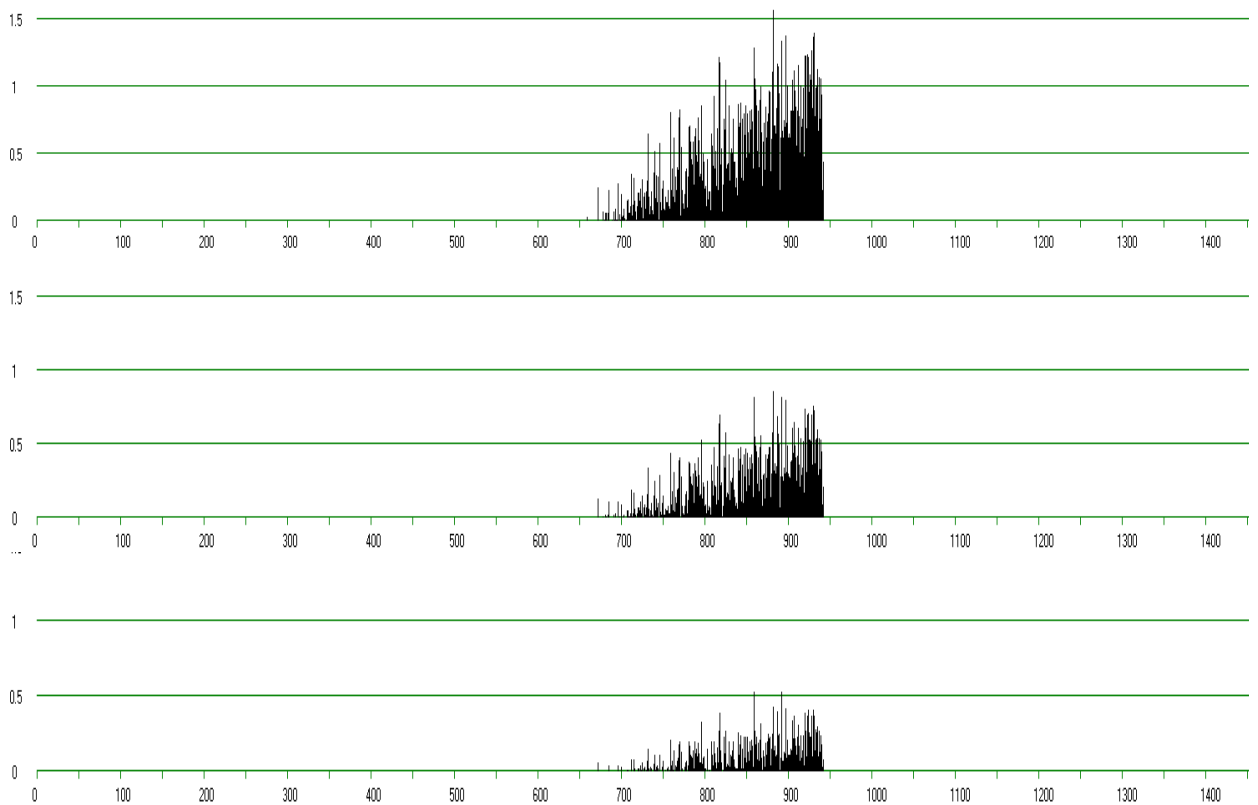
Rozmieszczenie sensorów:

- o przy korku technologicznym – spoina S2;
- o przy spoinie obwodowej – spoina S0;
- o przy króćcu napełniania – spoina S1.

Zarejestrowane sygnały emisji akustycznej przedstawiono na Rys.5.



Rys.4. Przebieg wzrostu ciśnienia w zbiorniku.



Rys.5. Zmierzone sygnały emisji akustycznej, kolejno (od góry) przez sensory: przy korku technologicznym, środkowy-przy spoinie obwodowej, dolny: przy króćcu napełniania.

Z uwagi na charakter sygnałów emisji akustycznej i położenie sensorów uznano, że ich źródłem jest połączenie gwintowe korka z płaszczem zbiornika. Aby rozstrzygnąć to definitywnie, z jednego ze zbiorników pobrano następujące wycinki do badań materiałowych:

- wycinek z korkiem technologicznym – Rys.6;
- wycinek ze spoiną obwodową – Rys.7;
- wycinek z króćcem napełniania – Rys.8.

Ponadto przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe celem wyznaczenia podstawowych charakterystyk, w tym granicy plastyczności.

5. Badania materiałowe

Badania materiałowe przeprowadzone zostały w celu identyfikacji składu chemicznego materiału zbiornika, określenia jego gatunku oraz podstawowych parametrów wytrzymałościowych z tablic. Ponadto przeprowadzono szczegółowe badania metalograficzne połączenia gwintowanego korka technologicznego z płaszczem zbiornika, tj. miejsca, które zostało zlokalizowane jako źródło sygnałów emisji akustycznej.

5.1. Badania wizualne

Do badań pobrano wycinki z miejsc mocowania sensorów emisji akustycznej.



Rys.6. Wycinek zbiornika ze spoiną obwodową.



Rys.7. Wycinek zbiornika z króćcem napełniania.



Rys.8. Wycinek zbiornika z korkiem technologicznym.

Powierzchnia wewnętrzna zbiornika była gładka. Nie zaobserwowano ognisk korozji na zewnętrznych i wewnętrznych częściach zbiornika. Lico spoin łączące dwie półkule zbiornika i króćce wykonano poprawnie.

Lico spoiny łączące króciec napełniania i korek technologiczny z półkulą zbiornika wykonano prawidłowo.

5.2. Identyfikacja składu chemicznego materiału zbiornika

Analizę składu chemicznego przeprowadzono przy użyciu urządzenia Bruker S4 Explorer XRF. Porównanie otrzymanych wyników ze spisem rosyjskich stopów tytanu pozwoliło zidentyfikować badany materiał jako dwufazowy stop tytanu BT6 (odpowiednik Ti6Al4V wg normy ASTM).

Skład chemiczny badanego stopu:

Składniki stopowe	Wagowy skład chemiczny %
Ti	88,690
Al	6,750
V	4,150
Si	0,320
Fe	0,270
Zn	0,062
S	0,033
P	0,030
Cr	0,029

Właściwości mechaniczne badanego stopu (wg ASTM)

- twardość: 36 HRC;
- granica plastyczności: 1103 MPa;
- wytrzymałość na rozciąganie: 1172 MPa;
- wydłużenie całkowite 10%.

5.3. Badania metalograficzne połączenia spawanego

Obserwacja mikrostruktury przy użyciu mikroskopu świetlnego została wykonana dla:

- spoiny: analiza obrazów ujawniła grubo-ziarnistą, równoosiową strukturę;
- strefy wpływu ciepła: zaobserwowano zmniejszenie wielkości ziaren w kierunku materiału rodzimego;
- materiału rodzimego - stop BT6 (oznaczenie rosyjskie): zaobserwowana mikrostruktura jest typowa dla tego rodzaju materiału.

Mikrostruktura materiału rodzimego, strefy wpływu ciepła i spoiny jest prawidłowa i typowa dla stopu BT6.

5.4. Obliczenia wytrzymałościowe zbiornika

Metoda elementów skończonych (MES) jest obecnie najbardziej popularną metodą komputerowych obliczeń naukowych i inżynierskich. Pozwala rozwiązywać złożone zadania, dla których wyznaczenie analitycznego rozwiązania jest często bardzo utrudnione, lub wręcz niemożliwe. Polega na podziale analizowanej konstrukcji na pewną, skończoną, liczbę geometrycznie prostych elementów, tzw. elementów skończonych.

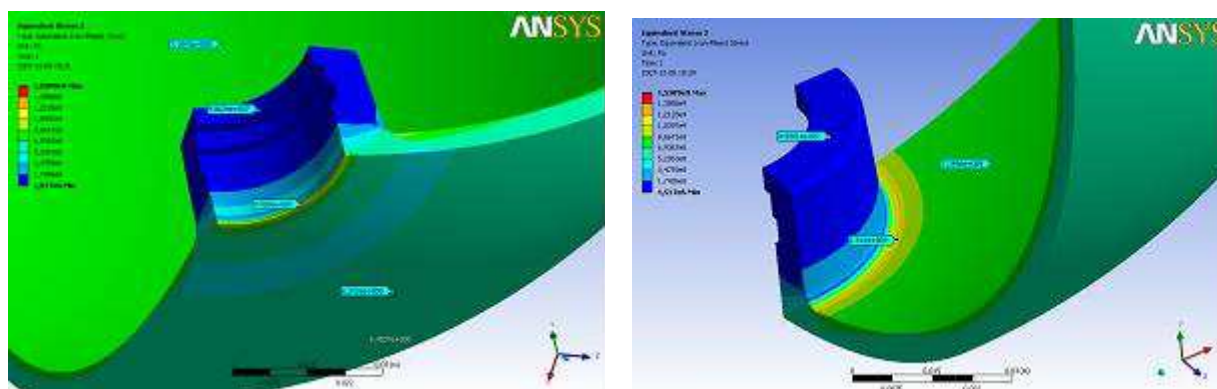
Model i właściwości mechaniczne

Materiał: stop BT6 wg GOST, przyłożone obciążenie: ciśnienie $p = 55$ MPa. Obliczenia wykonano metodą MES.

Dane materiałowe użyte do obliczeń:

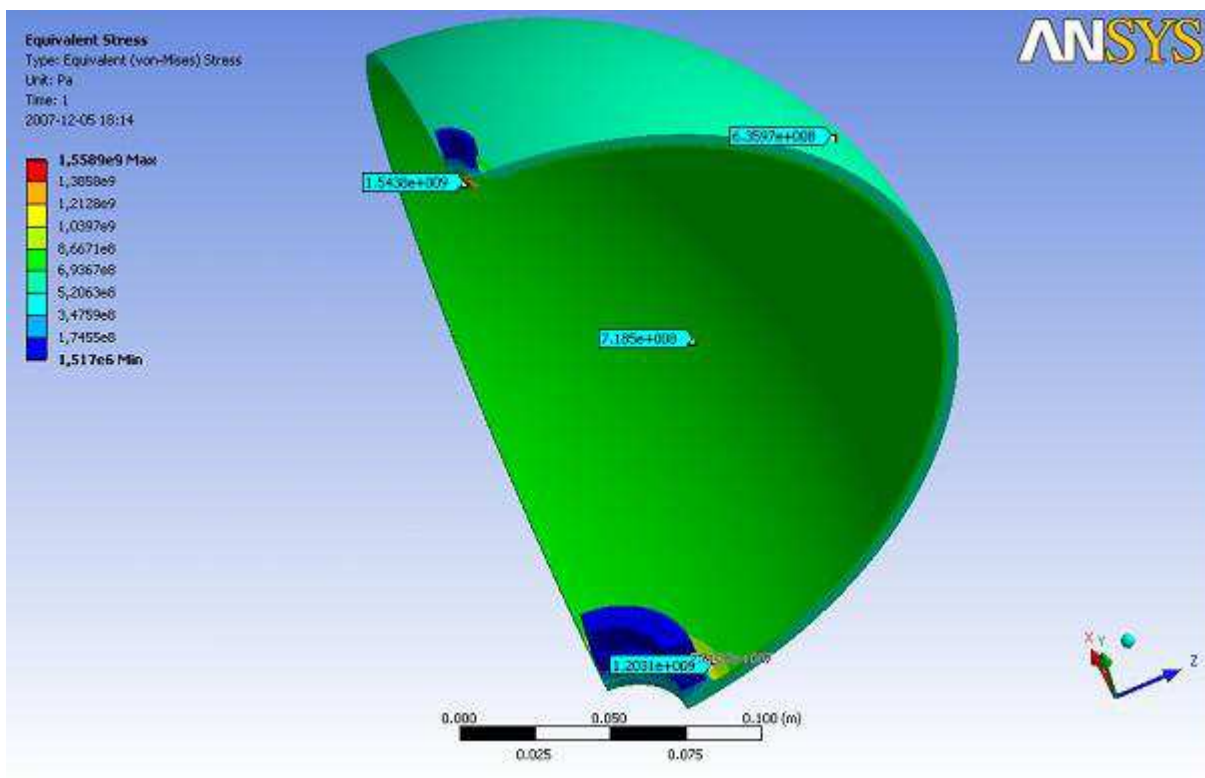
- współczynnik Young'a: $9,6 \times 10^{10}$ Pa;
- współczynnik Poisson'a: 0,36;
- gęstość: 4620 kg/m^3 ;
- współczynnik rozszerzalności cieplnej: $9,4 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$;
- granica plastyczności: $9,3 \times 10^8$ Pa;
- moduł umocnienia: $1,07 \times 10^9$ Pa.

Wyniki analiz numerycznych badanego zbiornika w postaci map naprężeń i odkształceń na powierzchniach zewnętrznych przedstawiono na Rys.9 i 10.



Rys.9. Rozkład naprężeń na płaszczu i króćcu zbiornika.

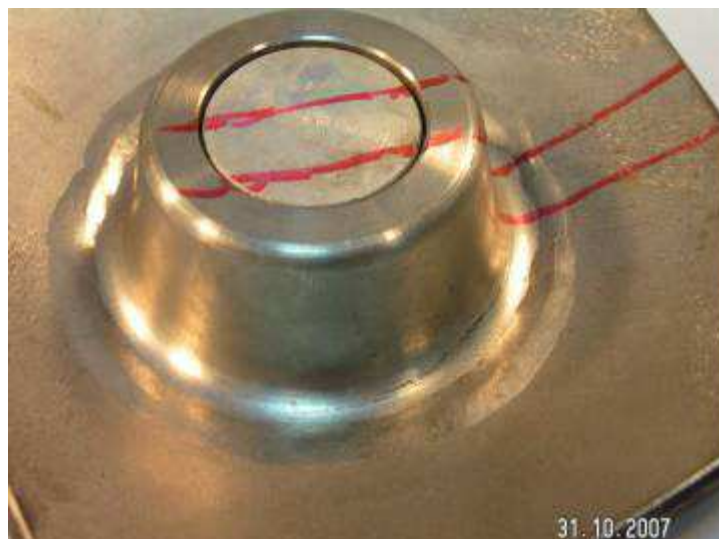
Współczynnik bezpieczeństwa k określono dla płaszczu zbiornika jako stosunek granicy plastyczności $R_e = 1103$ MPa do naprężeń zredukowanych, które wynosi 718 MPa.
 $k = 1,536$



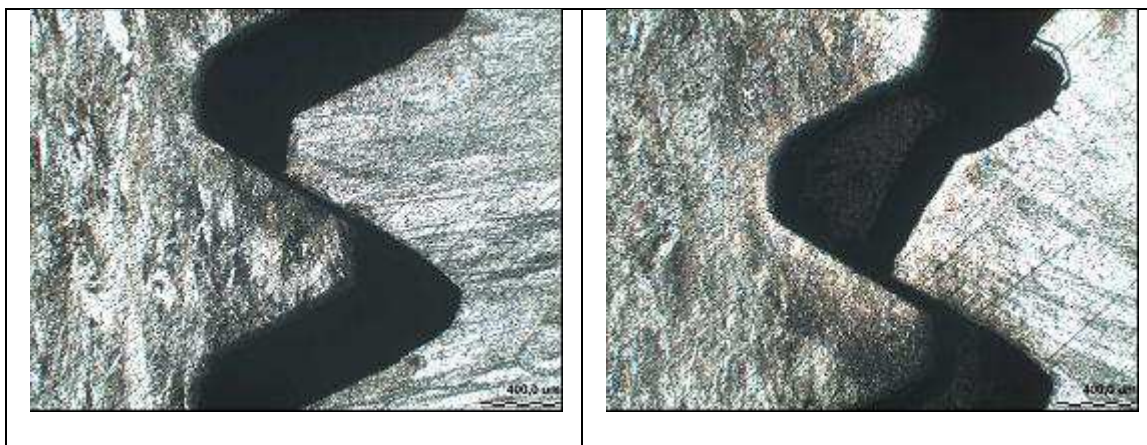
Rys.10. Rozkład naprężeń na płaszczu zbiornika

5.5. Badania metalograficzne połączenia gwintowanego korka technologicznego

Powyższe badania przeprowadzono w celu lokalizacji i identyfikacji źródła sygnałów emisji akustycznej.



Rys.11. Zdjęcie wycinka ze spoiną korka technologicznego z zaznaczonym miejscem wycięcia próbki metalograficznej



Rys.12. Luz i uszkodzenia w połączeniu gwintowanym pomiędzy korkiem technologicznym a płaszczem zbiornika.

Połączenie gwintowe wykazuje nadmierne luzy pomiędzy korkiem technologicznym a płaszczem zbiornika ,co może być źródłem emisji akustycznej.

6. Wnioski

Mimo długoletniej eksploatacji stan techniczny badanych zbiorników jest dobry. Nie zaobserwowano obecności ognisk korozji na ich powierzchniach zewnętrznych i wewnętrznych, jakość wykonania spoin była dobra. Mikrostruktura materiału rodzimego, strefy wpływu ciepła i spoiny jest prawidłowa i typowa dla stopu BT6 (Ti6Al4V). Obliczenia potwierdzają dostateczną wytrzymałość badanych zbiorników i możliwość ich dalszej eksploatacji.

Zaobserwowane zjawisko emisji akustycznej towarzyszące obciążaniu (wzrost ciśnienia wewnętrznego) zbiornika nie jest związane z ujawnieniem się wad w materiale ani jego wewnętrznej struktury, ale z występującymi luzami połączenia gwintowanego korka technologicznego z płaszczem zbiornika i jego ewentualnym przemieszczaniem się.

Literatura

- [1] I. Malecki, J. Ranachowski. „Emisja akustyczna”. PAN Instytut podstawowych Problemów Techniki. Warszawa 1994r.
- [2] Sprawozdanie z pracy nt. „Wykonanie badań wycinków elementów konstrukcyjnych.” Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej. Warszawa 2007r.
- [3] Sprawozdanie z pracy nt. „Ocena jakości zbiornika stalowego na sprężone powietrze, metodą pomiarów sygnałów emisji akustycznej z analizą wyników.” Zakład Akustyki Fizycznej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN. Warszawa 2007r.
- [4] Andrzej Pawełek. „Dyslokacyjne aspekty emisji akustycznej w procesach odkształcenia plastycznego metali.” Polska Akademia Nauk. Kraków 2006r.
- [5] Zbigniew Łapiński. „Badania wytrzymałościowe zbiorników na sprężone powietrze z jednoczesnym pomiarem sygnałów emisji akustycznej.” WITU, Problemy Techniki Uzbrojenia, nr 104/2007.

