

Władysław Michnowski
Jarosław Mierzwa

ZBM ULTRA Wrocław
Instytut Cybernetyki Technicznej
Politechniki Wrocławskiej

Badanie szczelności zbiorników paliwowych

Streszczenie. W artykule omówiono podstawowe zagadnienia formalno-prawne oraz techniczne w badaniach szczelności zbiorników paliwowych podziemnych. Zagadnieniami szczególnie istotnymi, poruszonymi w tym artykule, są: wprowadzenie po raz pierwszy podstawowych pojęć z omawianego zakresu, przedstawienie uniwersalnej techniki testu jakości badania, zaprezentowanie nowej ultradźwiękowej metody badania szczelności zwanej ULTRAMOD, a także przykładowych wyników badań szczelności ilustrujące możliwości metody.

1 Wstęp

Szybki rozwój motoryzacji w Polsce pociąga za sobą budowę stacji benzynowych których ilość aktualnie szacuje się na kilkadziesiąt tysięcy co przelicza się na czterokrotnie więcej zbiorników paliwowych. Prawie wszystkie te zbiorniki są usytuowane pod ziemią stanowiąc narastające potencjalne zagrożenie ekologiczne związane z ewentualnym wyciekami i powszechnym brakiem nowoczesnych systemów monitorowania ich szczelności. Prawne aspekty tej sytuacji ujęto w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 18.09.2001 (Dz.U.Nr 113, poz. 1211), które **nakłada obowiązek** na właścicieli zbiorników przeznaczonych do magazynowania paliw, **zgłoszenia ich pod dozór techniczny**. Paragrafy: §45, §47, §48 tego rozporządzenia mówią o konieczności i sposobie przeprowadzania prób szczelności zbiorników, **co jest warunkiem przyjęcia ich pod dozór**. W paragrafie §48 ust. 1 jest zalecenie „Wybór rodzaju próby (szczelności) powinien zapewniać uzyskanie wymaganej czułości badania..”, a dalej w §48 ust.3 pkt.7 wymienia się, jako jedną z zalecanych **ultradźwiękową metodę badania szczelności**. Ponadto w paragrafie §48 ust.4. „Wynik próby uznaje się za pozytywny, jeśli podczas jej przeprowadzania nie stwierdzono pęknięć, trwałych odkształceń ani przenikania cieczy lub gazu”.

W tym rozporządzeniu dotyczącym badania szczelności brak jest definicji najbardziej podstawowych pojęć dotyczących prób szczelności, nie podano kryterium wymaganej czułości badania, natomiast wymienia się bez ograniczeń jako dopuszczalne metody takie, których ewentualne zastosowanie byłoby technicznym nieporozumieniem (rozdział 3 tego artykułu) sprzecznym z wymogiem „wymaganej czułości badania” (§48 ust.1).

Braki te spowodowały chaos, w wyniku którego w praktyce przyjęto pod dozór wiele zbiorników, których szczelność można skutecznie kwestionować. Mianowicie oparto się na badaniach metodami o niedopuszczalnie niskiej czułości badań. Można szacować, że do dziś (sierpień 2002) szkody wynikłe z nieudolnego wprowadzania rozporządzenia nie są zbyt duże, bo niewiele zbiorników przyjęto pod dozór, ale wpływ czasu oczywiście tę sytuację zmienia na niekorzyść.

Brak dostępu do zbiornika podziemnego wprowadza ograniczenia w doborze metod do badań ich szczelności. Z wymienionych w rozporządzeniu w §48 ust.3 pkt.7 siedmiu metod, mogą być brane pod uwagę tylko próby ciśnieniowe oraz te, które śledzą poziom ubywającej cieczy (tj. ultradźwiękowe i hydrostatyczna). Jednak (jak wykazano w rozdziale 3) próby szczelności ciśnieniowe są zdecydowanie mniej czułe od prób śledzenia poziomu i mają niewielką szansę na akceptację.

2. Pojęcia podstawowe

Nie zdefiniowanie w rozporządzeniu pojęć podstawowych jest głównym powodem obserwowanego chaosu w badaniach szczelności. Poniżej wprowadza się pojęcia czułości chwilowej i czasowej oraz sposób ich pomiaru w każdym badaniu, a także oczywiste kryterium, że osiągnięta czułość czasowa ma być mniejsza liczbowo, to znaczy lepsza od czułości dopuszczalnej.

2.1. Czułość chwilowa próby szczelności C_{Ch}

Pomiar czułości C_{Ch} jest bardzo prosty i może być wykonany przy każdej próbie każdego i to dowolnego zbiornika. Po zainstalowaniu układu pomiarowego na konkretnym zbiorniku jego zawartość (objętość cieczy) V należy zmienić celowo na V^1 , (lub dla prób ciśnieniowych zmienić nadciśnienie P na nadciśnienie P^1). Należy stopniowo wstrzykiwać odmierzone porcje cieczy do zbiornika do czasu, aż układ pomiarowy wykaże przyrost. Ta ilość wstrzykniętej cieczy jest chwilową czułością próby szczelności C_{Ch} . Do pomiaru można użyć: dowolnego naczynia z cieczą, menzurki, strzykawki lekarskiej, a dla prób ciśnieniowych ręcznej pompy z wyskalowaną wydajnością objętościową.

$$C_{Ch} = V^1 - V = \Delta V \text{ [cm}^3\text{]}$$

Tak pomierzona chwilowa czułość próby szczelności C_{Ch} daje obiektywny liczbowy wskaźnik czułości konkretnego badania, konkretnego zbiornika i jest wskaźnikiem pozwalającym na akceptację lub nie wykonanej próby szczelności.

Prezentowana dalej metoda ULTRAMOD posiada bardzo dużą czułość (np. liczbowa wartość współczynnika C_{Ch} uzyskana na stanowisku wzorcowym wynosi ok. 0.02 cm^3), a jest to czułość znacznie większa, (3 rzędy) niż potrzeby w zakresie badań szczelności zbiorników.

2.2. Zmiany objętości – ubytki, przybytki objętości w cm^3

W odróżnieniu od chwilowego wskaźnika C_{Ch} nie zamierzone przypadkowe zmiany objętości powstałe na skutek nieszczelności lub zjawisk fizycznych w zbiorniku np. odgazowania cieczy, (ubytki lub przybytki) mogą być odniesione do czasu pomiaru i wyrażone w $[\text{cm}^3/\text{h}]$.

2.3. Czułość czasowa próby szczelności C_T

Przeprowadzając próbę szczelności w czasie t (rozporządzenie określa ten czas na około minimum 0,5 godziny) uzyskuje się czasową czułość próby szczelności C_T zgodnie z zależnością:

$$C_T = C_{Ch}/t \text{ [cm}^3/\text{h}]$$

Czułość czasowa C_T jest podstawowym parametrem wiarygodności danej próby szczelności dla konkretnego zbiornika i powinna być podawana liczbowo w sprawozdaniu z badania jego szczelności. Natomiast ewentualne wykorzystanie wskaźnika C_T do określania czułości metody badań i na tej podstawie jej uznanie jest błędem, a nawet nieporozumieniem (p. 1.5).

2.4. Dopuszczalna czułość czasowa próby szczelności C_D

Ustanowienie dopuszczalnej czasowej próby szczelności C_D jest absolutnie niezbędne i zgodne z międzynarodową praktyką. Np. amerykańskie wytyczne w §280.43 (c) ustanawiają wartość $C_D = 378 \text{ cm}^3/\text{h}$ (0,1 gal/h). Oczywiście jest, że

$$C_T < C_D$$

Jest to podstawowy warunek akceptacji wykonanej próby szczelności.

2.5. Uwagi do wskaźnika czułości C_{Ch}

Wskaźnik czułości C_{Ch} , łatwy do pomiaru, charakteryzuje obiektywnie konkretne badanie konkretnego zbiornika. Jest on jednak złożoną z wielu zmiennych niezależnych funkcją. Na wskaźnik C_{Ch} ma istotny wpływ nie tylko dobroć, tj. właściwości użytej metody, ale także stopień napełnienia zbiornika podczas próby, geometria (budowa) badanego zbiornika, jego wielkość i związane z tym zmienne powierzchnie przekrojów poziomych zbiornika. Natomiast C_{Ch} jest niezależny od zmian temperatur cieczy w zbiorniku. Błędem elementarnym jest akceptowanie zadeklarowanego wskaźnika C_T który jakoby charakteryzuje generalnie metodę i na tej podstawie podejmowanie decyzji o jej uznaniu, a potem uznawaniu wyników wszystkich badań wykonanych tą metodą. Bowiem jedną metodą badania, badając różne zbiorniki wykonuje się je z różną czułością, a nawet dwa identyczne zbiorniki są badane z inną czułością jeśli są np. napełnione w różnym stopniu. Różna wielkość zbiornika lub tylko różny stopień napełnienia może **zmieniać czułość badania o ponad dwa rzędy wartości.**

3. Wpływ czynników zewnętrznych na badanie szczelności

3.1. Kompensacja temperaturowa

Jeśli w czasie badania szczelności zbiornika temperatura cieczy w badanym zbiorniku zmieni swoją wartość, to nastąpią odpowiednie zmiany objętości tej cieczy zgodne z jej współczynnikiem rozszerzalności objętościowej. **Zmiany te mogą być znaczne.** Wymaga to pomiaru temperatur i ewentualnej kompensacji temperaturowych zmian objętości cieczy. W metodzie ULTRAMOD sonda temperaturowa może mierzyć temperaturę cieczy na ośmiu lub czterech głębokościach w zbiorniku z rozdzielczością $0.03^{\circ}C$.

3.3. Naciski zewnętrzne

Przy dokładnych pomiarach poziomu cieczy obserwuje się jego zmiany związane z przejazdem ciężkich pojazdów nawet w odległości kilkunastu metrów od zbiornika. Zmiany te mają charakter dość przypadkowy i jeśli wartość ich fluktuacji przekracza lub jest porównywalna z założoną czułością C_{Chz} wymaga to przerwania pomiaru.

3.4. Odgazowanie i parowanie cieczy

W trakcie badania szczelności ciecz zawarta w zbiorniku, a szczególnie woda może odgazowywać zawarte w niej powietrze, a także lekkie paliwa mogą odparowywać. Powoduje to przy dokładnych pomiarach przyrost poziomu obserwowanej cieczy o charakterze dość monotonicznym który jest łatwy do określenia na wykresie zmian poziomów i łatwy do oszacowania wartości tych zmian.

3.5 Badania uproszczone - przyjęcie współczynnika C_{Chz}

Zwykle, a szczególnie w badaniach rutynowych bardziej interesujące jest czy przeprowadzone badanie jest zgodne z założoną czułością C_{Chz} , natomiast określanie jego maksymalnej wartości może być oszacowane na wykresie. W tak w uproszczonym badaniu zamiast stopniowo dolewać cieczy do zbiornika dla określenia wartości C_{Ch} (podrozdział 1.1) zakłada się wartość C_{Chz} na przykład jako część wartości dopuszczalnej C_D to jest $C_{Chz}=0,5 C_D$ lub $C_{Chz}=0,25 C_D$ lub jeszcze inaczej. Policzoną w ten sposób objętość to jest np. $C_{Chz}=0,5 C_D = 378 \times 0,5 \approx 200 \text{ cm}^3$ dolewa się do zbiornika, a dowolny układ pomiarowy szczelności zainstalowany na zbiorniku może zareagować na ten skok objętości tylko na jeden z dwóch sposobów, a mianowicie:

- I. brak wskazania lub wskazanie mało wyraźne co oznacza że rzeczywista czułość badania jest niższa od założonego C_{Chz}
- II. wskazania wyraźne

W przypadku reakcji I na skok objętości można C_{Chz} zwiększyć dwu, trzy, cztero-krotnie tak długo aż osiągnie się wskazania układu wyraźne.

Wartość C_{Chz} można zwiększać także powyżej wartości dopuszczalnej C_D . Pociąga to za sobą konieczność odpowiedniego zwiększenia czasu próby tak aby wymóg kryterium $C_T < C_D$ był zachowany. W praktyce oznacza to, że jeśli np. $C_{Chz} = 2 C_D$ to czas próby ma wyniesie 2 godziny, jeśli $C_{Chz} = 3 C_D$ to czas próby wyniesie 3 godziny, itd. Oczywiście istnieje rozsądny czas wykonania próby powyżej którego trzeba uznać, że przyjęta metoda badania szczelności dla danego zbiornika jest niewłaściwa i należy ją zmienić.

W przypadku reakcji II układu na skok objętości należy wartość wskazania, przyrostu poziomu cieczy zanotować. Jeśli podczas całego czasu próby wskazania są wyższe od wskazań wyjściowych, to wynik próby jest pozytywny z osiągniętą czułością badania co najmniej $C_T = C_{Chz}$. W tych metodach, które automatycznie notują chwilowe poziomy cieczy w czasie próby, a potem drukują wykres tych poziomów, można z tego wykresu odczytać dość dokładnie osiągnięte rzeczywiste czułości badania C_{Ch} , C_T oraz ubytki cieczy.

4. Oszacowanie czułości C_{Ch} metod badania szczelności zbiorników podziemnych metodami ciśnieniowymi

Użycie znanej i używanej od wielu lat w dozorcze, metody ciśnieniowej hydraulicznej (próba wodna) lub ciśnieniowej pneumatycznej nie wymaga żadnych czynności dodatkowych jak np. jej uznanie. Próby te cieszą się powszechnym zaufaniem, jednak całkowicie niesłusznym w zastosowaniu do zbiorników podziemnych. Czułość chwilowa tych metod dla zbiorników podziemnych może być tak zła, że je dyskwalifikuje, a nie wykonywanie w ogóle testu czułości chwilowej C_{Ch} tych prób **utajnia fakt ich bezprawnej akceptacji**. To oznacza że każdy zbiornik przyjęty pod dozór z wykonaną próbą szczelności którąś z tych metod może nie spełniać wymogów §48 ust.1, tj. zalecenia, że „Wybór rodzaju próby (szczelności) powinien zapewniać uzyskanie wymaganej czułości badania.”.

Przykład oszacowania czułości metod ciśnieniowych podany poniżej sporządzono dla typowych warunków prób szczelności zbiorników podziemnych oraz stosowanego w takich przypadkach wyposażenia.

Założenia:

- Zbiornik o objętości $V = 20 \text{ m}^3$ posiadający wewnętrzne pierścienie wzmocniające płaszcz, powodujące istnienie przestrzeni, które nie można odpowietrzyć przy próbie hydraulicznej np. w wysokości 0,5% V tzn. $V_p = 0,1 \text{ m}^3 = 100$ litrów
- Manometr na zakres 0-100 kPa klasy 1, właściwy dla ciśnienia próbnego 75 kPa tzn. uchyb tego manometru wynosi dla pomiaru w całym zakresie ± 1 kPa.

Przypadkowy błąd wskazań pomiaru ciśnienia przy obecności 100 litrowej przestrzeni gazowej powoduje przypadkowy błąd wskazań zmian objętości cieczy w zbiorniku wyliczony ze znanej proporcji wynikającej z równania stanu gazu. (równanie Clapeyrona $P_1 V_1 / T = \text{constans}$).

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{stąd} \quad V_2 = P_1 V_1 / P_2$$

dla wartości P i V jak wyżej $V_2 = (75+1) \times 100 / (75-1) = 102,7 \text{ l}$, co oznacza, że zmiany objętości $V_2 - V_1 = 2,7$ litra są nie mieralne. Oczywiście znaczne wydłużenie próby w czasie może ten niekorzystny wynik poprawić. I aby osiągnąć czułość dopuszczalną $C_D = 378 \text{ cm}^3/\text{gdz}$ należałoby próbę prowadzić przez czas $t = 2700/378 = 7,14$ godziny.

Wniosek 1

Czułość C_{Ch} hydraulicznej próby ciśnieniowej w zastosowaniu do zbiorników podziemnych może być bardzo niska i osiągać około 2,7 litra.

Wniosek 2:

Czułość C_{Ch} pneumatycznej próby ciśnieniowej dla tych samych założeń jest ponad dwa rzędy gorsza bo we wzorze na V_2 zamiast 100 należy podstawić 20 000 litrów, a ewentualne stosowanie pneumatycznej próby ciśnieniowej do badania szczelności zbiorników podziemnych byłoby nieporozumieniem.

5. Opis metody ULTRAMOD i zakres stosowania

W badanym zbiorniku wypełnionym cieczą np. paliwem, przez określony czas śledzi się poziom tej cieczy opracowanym zestawem ultradźwiękowym. Centralną jednostką zestawu jest cyfrowy przyrząd elektroniczny CUD-P, który jest modyfikacją znanych cyfrowych ultradźwiękowych defektoskopów CUD. Badany zbiornik jest w całości wypełniony cieczą (paliwem), a ewentualne zmiany poziomu są śledzone w rurze o ograniczonym przekroju (rys.2). Ponadto mierzone są na kilku różnych głębokościach temperatury cieczy. Chwilowe wysokości poziomu cieczy i pomierzone wartości temperatur w **ustalonych jednostkach czasu** rejestruje się automatycznie w pamięci CUD-P. Po zakończeniu czasu próby, przepisuje się je do dowolnego komputera, co zapewnia ich archiwizację oraz umożliwia ich przetworzenie na wyniki próby. Wyniki podawane są cyfrowo i graficznie w formie wykresów w następującym zestawie: pomierzone poziomy cieczy w mm, ubytki w cm^3 , wartości temperatur na każdym mierzonym poziomie oraz ich wartości średnie.

Zakres stosowania metody ULTRAMOD

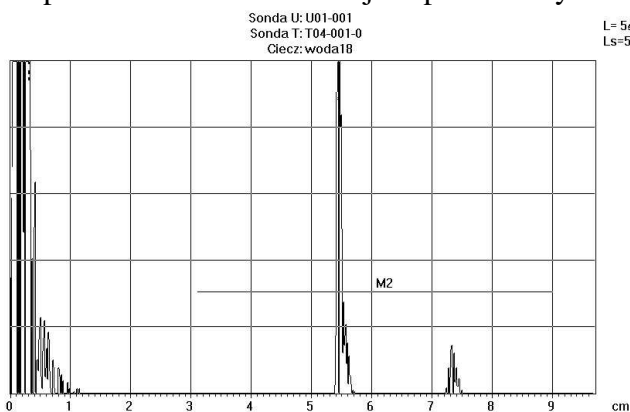
Metodą ULTRAMOD można badać szczelność dowolnych zbiorników które:

- można wypełnić cieczą (rys.2), przy czym wypełnianie zamkniętych kieszeni gazowych (powietrznych) nie jest konieczne,
- można zainstalować sondę ultradźwiękową oraz sondę temperaturową.
- są przeznaczone na :paliwa, wodę, nie agresywne płyny.

6. Opis sprzętu

Zestaw do badań szczelności zbiorników metodą **ULTRAMOD** składa się z: przenośnego komputera typu notebook, miernika ultradźwiękowego CUD-P, sond temperaturowej T04 i ultradźwiękowej U01.

Miernik ultradźwiękowy CUD-P usytuowany w niewielkiej obudowie jest w pełni zautomatyzowanym urządzeniem do pomiarów i rejestracji poziomu cieczy i jej temperatur i może współpracować z dowolnym komputerem. W działaniu jego podobnie jak przy pomiarach grubości wykorzystuje pomiar czasu przebiegu impulsu fali ultradźwiękowej od momentu nadania przez przetwornik po odbiciu od powierzchni cieczy do momentu powrotu do przetwornika. Czas ten jest przeliczany na odległość w cieczy i pokazywany cyfrowo

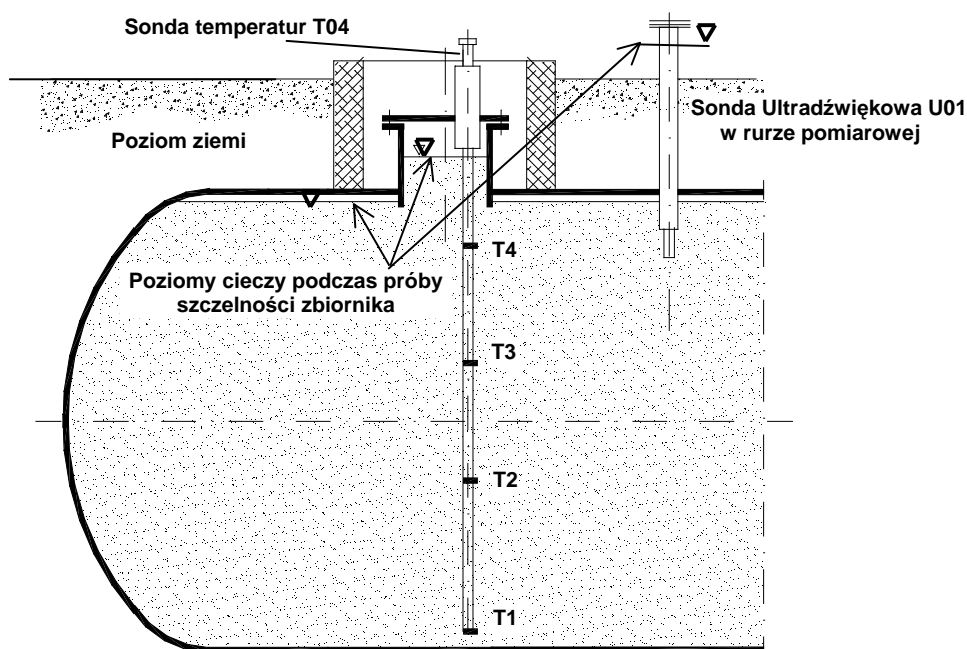


Rys 1. Część ekranu komputera jako ekran CUD-P

może też być zapamiętany do późniejszego sporządzenia wykresu poziomów cieczy. Ponadto, podobnie jak w defektoskopie, na ekranie komputera jest pełne zobrazowanie pracy miernika (rys.1) pozwalające na jego regulację i dobór parametrów pracy. Miernik ultradźwiękowy CUD-P także pozwala na pracę automatyczną, bez nadzoru, na określony czas z wyznaczoną częstotliwością pomiarów.

7 Opis badania

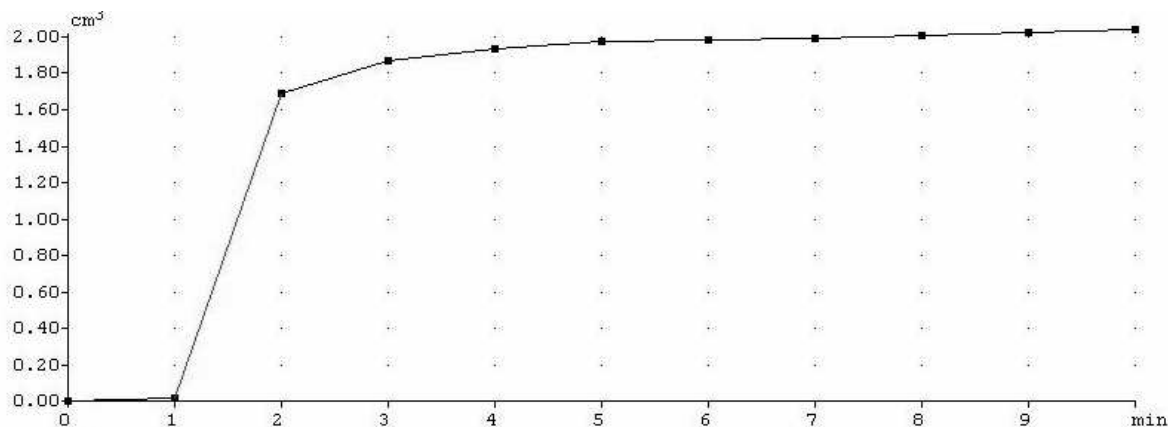
Na schemacie rys.2 przedstawiono rozmieszczenie elementów służących do pomiaru zmian poziomu cieczy w badanym na szczelność zbiorniku.



Rys.1 Schemat instalacji do badania szczelności zbiornika

8.Przykładowe rzeczywiste wyniki badań

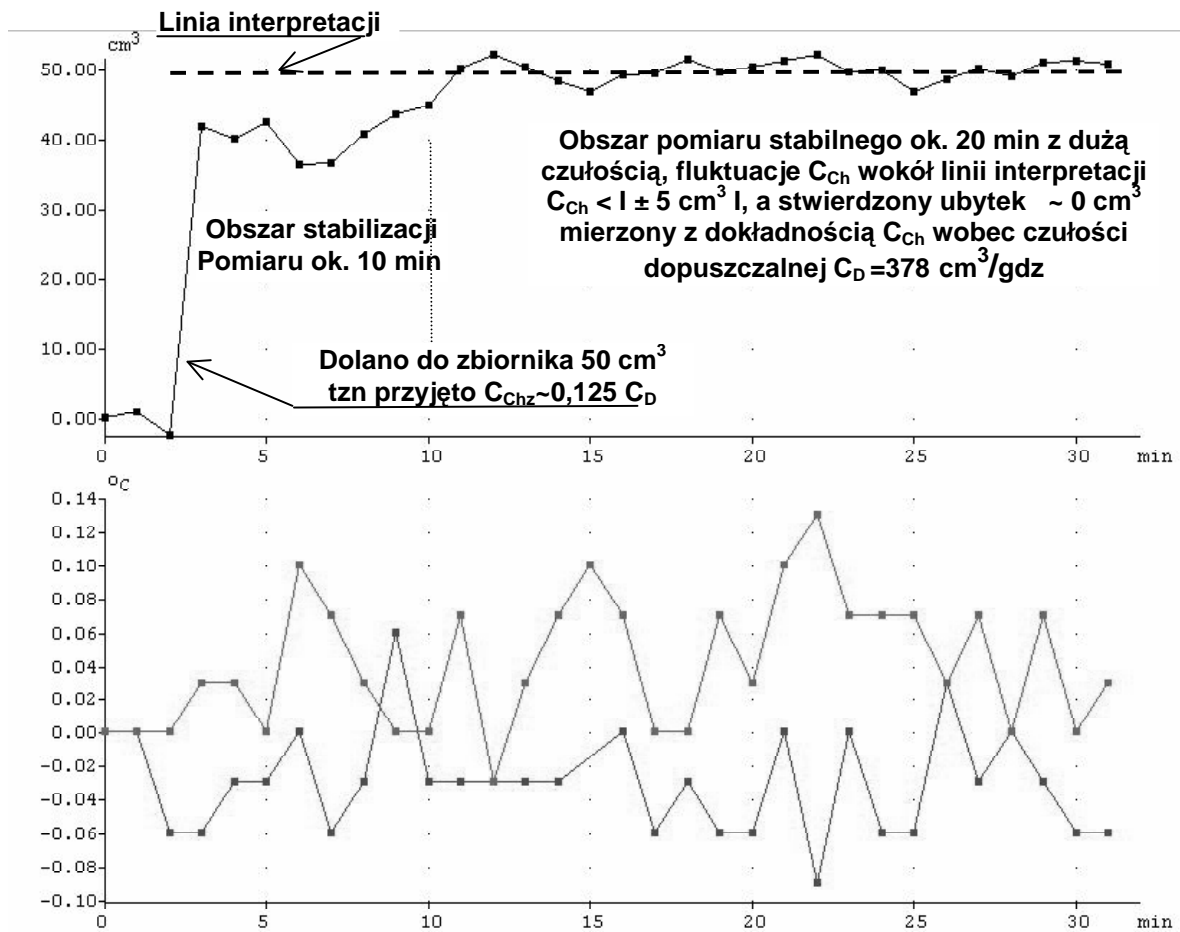
8.1. Czułość metody ULTRAMOD



Rys.3 Wykres wykonany na stanowisku do wzorcowania którym jest rura Φ 50 mm.

Na przedstawionym na rys.3 wykresie zmian objętości, w czasie między 1, a 2 minutą pomiaru dolano 2 cm^3 wody. Lekko wznosząca tendencja krzywej to rozbryzgane drobniutkie kropelki wody spływające po ściankach rury, dlatego dopiero po 3 minutach układ rejestruje pełne wlane 2 cm^3 . Daje to dobre oszacowanie współczynnika $C_{ch} \approx -0.02 \text{ cm}^3$ (rozdz. 1.1) i dowodzi bardzo dużej czułości metody. Wykres (Rys.3) jest dowodem, że możliwości metody i jej czułość są **znacznie wydajniejsze (ok. 3 rzędy) niż potrzeby** w zakresie badań szczelności zbiorników. Natomiast osiągane rzeczywiste wyniki są gorsze, a spowodowane są fizyką zjawisk w zbiorniku. Zjawiska te mają charakter przypadkowy i wpływają w znacznie większym stopniu na wyniki badań niż właściwości tej metody (rozdz. 1.5).

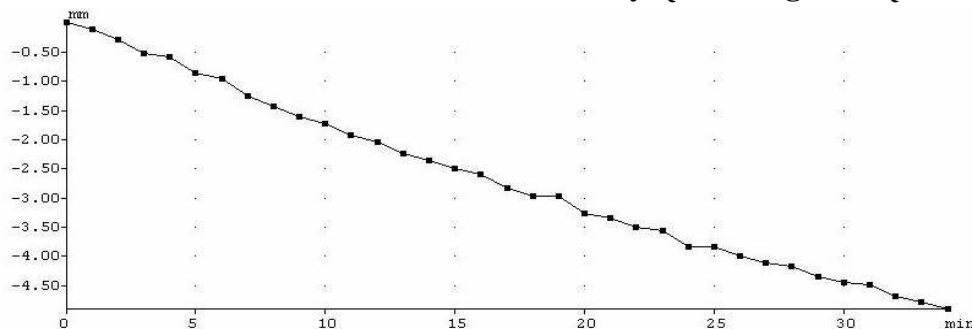
8.2. Wykres badania szczelności zbiornika 50 m³ na olej opałowy wypełnionego wodą



Rys. 4 Wykres zmian objętościowych i temperaturowych badanego zbiornika

Wykres wskazuje, że zbiornik jest szczelny, pomiar został wykonany z dużą czułością, zmiany temperatury przedstawione dla dwóch czujników są poniżej 0,1 °C.

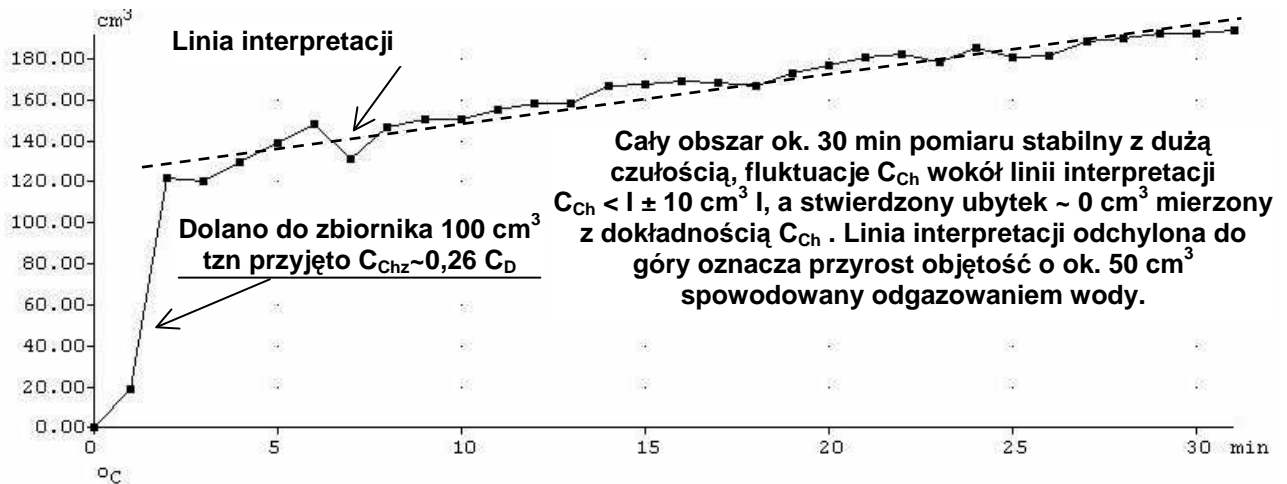
8.3. Badanie szczelności zbiornika 20 m³ na benzynę badanego wodą



Rys.5 Wykres zmian poziomu cieczy badanego zbiornik

Wykres wskazuje, że zbiornik jest nieszczelny, a wskazana nieszczelność jest niewielka, została znaleziona w armaturze zbiornika i usunięta. Charakter wskazania poziomu w mm tzn. regularna monotoniczność malejąca dają ewidentny obraz ubytków i nieszczelności zbiornika, choć nieszczelność jest niewielka. Szacunkowa obliczeniowa nieszczelność dla danych na wykresie wynosi ok. 25 cm³/h co jest i dużo mniej od dopuszczalnego 0,1 gal/h.

8.4. Badanie szczelności zbiornika 50 m³ na olej napędowy wypełnionego wodą



Rys.6 Wykres zmian objętości zbiornika bliźniaczego-identycznego jak zbiornik z p.7.2 (rys.4) badany jeden po drugim w odstępie jednego dnia.

Proste porównanie wykresów (rys.4 i rys.6) pozwala na stwierdzenie istotnych różnic w zachowaniu dwóch identycznych zbiorników, identycznie badanych mniej więcej w tym samym czasie. Jest oczywiste, że różnice zachowań zbiorników mogą być znacznie większe niż wynika to z tego porównania. Mało istotny szczegół tłumaczy tą różnicę zachowań tj. zbiornik z rys.4 był napełniany później tą samą wodą przepompowaną ze zbiornika z rys.6, która dzięki temu już w znacznym stopniu była odgazowana.

9. Wnioski

Przedstawione w artykule zagadnienia sugerują podjęcie następujących działań:

- przyjęcie jako obowiązujące wskaźniki czułości C_{Ch} , C_T , C_{Chz} w badaniach szczelności, co pozwoli na jednoznaczną akceptację lub nie każdej próby szczelności i w efekcie pełną powtarzalność ocen szczelności nawet wykonanych różnymi metodami a także wykrycie i eliminację prób nieudanych,
- określenie wskaźnika czułości dopuszczalnej C_D (np. $C_D=0.4$ l/h),
- zakazanie stosowania do prób szczelności zbiorników próby pneumatycznej ciśnieniowej,
- uruchomienie monitoringu prób szczelności (w oparciu o pocztę elektroniczną)

Prosta obserwacja krajów bardziej rozwiniętych lub lektura np. wytycznych amerykańskich przekonują, że przyszłość dozoru zbiorników paliwowych musi być planowana w oparciu o pełny monitoring ich **eksploatacji**, a także okresowych **prób szczelności**. Propozycja 9d idzie w tym kierunku i umożliwia od zaraz w stopniu **ograniczonym do prób szczelności** uruchomić w tym zakresie poligon doświadczalny.

10. Literatura

- [1] DEMBOWSKI W., MICHNOWSKI W.,MIERZWA J.:ULTRAMOD Badanie szczelności podziemnych zbiorników zmodyfikowaną metodą ultradźwiękową, Świat Paliw ROK IV. NR 2(20)
- [2] Electronic Code for Federal Regulations, Part 280 – norma amerykańska
- [3] EN1779:1999 Non destructive testing-Leak testing – Criteria for method and technique selection
- [4] PN-EN 1330-8:2001 Badania nieniszczące- Terminologia- Terminy stosowane w badaniach szczelności.
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18.09.2001 (Dz.U.Nr113,poz.1211)