

System Badania i Monitorowania Szczelności Zbiorników Metoda **ULTRA-MONIT** wersja 01 (UM01)

Streszczenie

W artykule przedstawiono opis nowej metody do badań okresowych i ciągłego monitorowania szczelności w podziemnych zbiornikach paliwowych. Prawny wymóg monitorowania zbiorników aktualnie realizowany jest poprzez zmianę konstrukcyjną na zbiorniki dwu płaszczone co wymaga znacznych kosztów inwestycyjnych i związanych z przerwami w eksploatacji. Prezentowana metoda dzięki swoim cechom pozwala na skuteczniejszy monitoring tak w zbiornikach jedno płaszczyznowych jak i dwu płaszczyznowych. W zaprezentowanej metodzie monitorowanie polega na wykonywaniu kolejnych pojedynczych prób szczelności. Pojedyncza próba szczelności polega na pomiarze i rejestracji zmian poziomu cieczy w części napełnionej zbiornika oraz na pomiarze zmian ciśnienia gazu w pozostałej części w tym także w instalacji. Na podstawie zebranych wyników następuje automatyczna ocena szczelności oraz rozpoczęcie nowej próby. Realizację procesu monitorowania zapewnia odpowiedni sprzęt połączony ze specjalistycznym oprogramowaniem. W prezentowanej metodzie ocenę szczelności oparto na bardzo precyzyjnych pomiarach ewentualnego wycieku. Precyzja pomiaru weryfikowana jest przez wzorcowanie polegające na symulacji wycieku. Nowością w prezentowanej metodzie jest to że jej czułość może być dobierana w zależności od wymogów i warunków miejscowych, a także to że przez Internet można sprawować zdalny nadzór.

1 Opis ogólny, aktualny stan zagadnienia

Zbiorniki magazynowe paliw oraz innych płynów zagrażających środowisku naturalnemu zgodnie z obowiązującymi przepisami mają być poddawane kontroli szczelności, a także ich szczelność ma być monitorowana (1). Monitorowanie szczelności zbiorników ma na celu alarmowanie momentu utraty szczelności zbiornika dla podjęcia działań zabezpieczających przed skażeniem okolicy. Dla zminimalizowania zagrożenia jest bardzo istotne aby kontrola szczelności była prowadzona z dożą możliwie największą czułością oraz pewnością wskazań. Obowiązek monitorowania szczelności zbiorników wynika z (1 §10), a wytyczne szczegółowe podają Warunki UDT (5). Istotną trudność związaną z wprowadzonym obowiązkiem monitorowania szczelności jest wymóg rozwiązania zabezpieczenia przed ewentualnym wyciekem co dla zbiorników podziemnych sprowadza się do konstrukcji z podwójnym płaszczem. W istniejących i bardzo wielu eksploatowanych zbiornikach jedno płaszczyznowych montuje się aktualnie kilka rozwiązań spełniających ten wymóg np. wstawienie drugiego płaszcza stalowego lub z laminatów lub wstawienie miękkiego podciśnieniowego balonu. Zgodnie z (1) (§10 p3.2c) opracowano znacznie tańszy sposób polegający na zastosowaniu metody ULTRAMONIT z wyposażeniem monitorującym szczelność zbiornika w połączeniu ze zbiorniku zapasowym.

Istotną trudnością w kontroli szczelności zbiorników podziemnych jest ich niedostępność do oględzin. Jest intuicyjnie oczywiste że naturalny sposób badania pozwala na wykrycie bardzo małych wycieków napełnionego płynem zbiornika nawet z czułością większą niż jedna kropla płynu. Podczas oględzin wyciekający płyn tworzy widoczne ślady, a ewentualne zastosowanie prostych wykrywaczy (np kreda lampa fluorescencyjna) może jeszcze tę czułość wycieku znacznie poprawić.

Niestety zakopane zbiorniki są niedostępne dla oględzin co wymusza użycie metod pośrednich badania szczelności. Czułość tych metod jest różna i może być dość istotnie niższa od sposobu naturalnego. Nawet tak niska że stosowanie niektórych sposobów kontroli szczelności nie miałyby sensu technicznego. Najczęściej stosowane pośrednie metody kontroli szczelności to śledzenie ubytku poziomu cieczy oraz kontrola wytworzonego celowo ciśnienia próbnego w badanym zbiorniku. Próby według tych metod tj śledzenia poziomu i obie ciśnieniowe (hydrauliczna i pneumatyczna) wykonywane są na różne sposoby i przy użyciu bardziej lub mniej nowoczesnego wyposażenia (http://www.udt.gov.pl/pdf/eksploatacja/proby_szczelnosci.pdf)

Na ogół osiągnane w tych sposobach czułości badań są nieznanne i/lub nie mierzalne po prostu nie podaje się ich czułości to znaczy **osiąganej najmniejszej mierzalnej wartości wycieku w jednostce czasu C_{ch}** (według 3 i 4).

Panują tu **heurystyczne* oceny** przydatności danego sposobu kontroli szczelności zbiornika i nie podaje się metod i kryterii takich ocen.

Istniejący stan jest niewątpliwie związany z niefortunnym zapisem w rozporządzeniu (1). Mianowicie w paragrafie §48 ust 1 jest zalecenie „Wybór rodzaju próby powinien zapewniać uzyskanie wymaganej czułości badania i brać pod uwagę możliwości techniczne”. Zalecenie takie nie podaje wymaganej czułości badania także nie określa jej cyfrowo, a dodatkowo przez określenie „... brać pod uwagę możliwości techniczne” nie tylko jakby łagodzi wymogi ale równocześnie czyni je bardzo nieprecyzyjne i sankcjonuje oceny heurystyczne.

Jest to diametralnie różne podejście od prezentowanego w normie Amerykańskiej (2) w której sformułowane są między innymi dwa wymogi, a mianowicie:

- próba szczelności zbiorników i monitorowanie szczelności powinno mieć **czułość wycieku** nie przekraczającą **0,1 galona/godzinę** (ok. 0,4 l/h)
- **przeprowadzający** próbę i to każdą próbę na konkretnym zbiorniku lub instalujący każdą instalację monitoringu powinien **udowodnić** że zachowany jest **wymóg czułości** 0,1 gal/h, a z kontekstu wynika że ma to być dowód techniczny, a nie czysto formalny jak certyfikacja, jakieś uprawnienia lub uznanie.

Komentarz - z takiej definicji prób szczelności wynika kilka wniosków a mianowicie:

- Wiarygodność (każdej) próby to jest jej przydatność jest tylko w przypadku jeśli w wyniku próby uzyskuje się wskazanie potencjalnego wycieku podane w jednostkach objętości np. -0.1 galona na godzinę, a nie jest istotne czy wynik uzyskuje się wprost czy w wyniku jakichś przeliczeń.
- Jeśli uzyskuje się wyniki wskazań w innych jednostkach np. milimetry poziomu cieczy, kPa ciśnienia, decybele szumów akustycznych itd. to należy je przeliczyć na przyjęte jednostki gal/h (litr/h). Jeśli jest to niemożliwe to taki cały zbiór prób jest niewiarygodny i nieprzydatny w badaniach szczelności. Aktualnie w Polsce nieporozumienia w tym zakresie są powszechne można tu podać liczne przykłady i udowodnić ich bezsens techniczny ale drugi punkt wymogów normy (2) zwalnia od takiego dowodu bo to wykonujący ma obowiązek przeprowadzić dowód wiarygodności próby. Zaniechanie tego obowiązku acz powszechne i niestety zgodne z obowiązującym rozporządzeniem jest uszczerbkiem nie tylko na etyce inżynierskiej, oczywiście może to powodować wielorakie negatywne skutki praktyczne i zagrożenia.
- Dowód na wiarygodność – próby szczelności zbiorników cieczy, jest trywialny i oczywisty, otóż należy zasymulować nieszczelność. Na przykład przez celowe dolanie lub wylanie nieco cieczy ze zbiornika. Wiarygodny układ kontroli powinien to wykryć, zanotować ocenić, alarmować itd. Test ten można przeprowadzić dla każdej metody i w każdych warunkach.
- **Nie jest jasne dlaczego tego testu wiarygodności próby szczelności się nie przeprowadza** i dlaczego nie ma takiego obowiązku prawnie sformułowanego.

* Heurystyka to metoda znajdowania rozwiązań dla której nie ma gwarancji znalezienia rozwiązania optymalnego, a często nawet prawidłowego. <http://pl.wikipedia.org>

2 Metoda ULTRAMONIT

Założenia

- A. opracowano ją z założeniem że będzie ona spełniała wysokie wymogi normy Amerykańskiej (2).
- B. służy do prób szczelności zbiorników oraz do monitorowania szczelności w ich pracy ciągłej równocześnie na kilku zbiornikach np. stacji benzynowej i to jednym wyposażeniem technicznym
- C. próby są przeprowadzane bez wyłączenia zbiornika z eksploatacji,
- D. monitoruje szczelność całego kompletnego układu to jest przestrzeń zbiornika, a także przynależną armaturę i instalacje [wymóg normy amerykańskiej (2) §280.40(1)].
- E. Jest przeprowadzany test wiarygodności (wzorcowanie) w każdej próbie szczelności, a w monitorowaniu w przejętych okresach czasu.
- F. wyniki pomiarów, a także ich pochodne obliczeniowe w tym ostrzeżenia o nieszczelności są wykorzystywane w miejscu zainstalowania, a także w ewentualnie dowolnie wybranych innych miejscach poprzez Internet lub GPRS.

Komentarz:

ad A Wymogi normy Amerykańskiej (2) są technicznie uzasadnione i stawiają bardziej jednoznaczne i ostrzejsze wymogi niż rozporządzenie (1).

ad B i ad C Spełnienie założeń B i C osiągnięto przez zastosowanie równoczesne dwóch różnych metod w badaniu szczelności tj ultradźwiękowego śledzenia poziomu – stopnia napełnienia zbiornika oraz pneumatyczną próbę ciśnieniową. W obu metodach zastosowano rozwiązania techniczne o bardzo wysokiej czułości i dokładności wskazań (0,05 mm wysokość cieczy, 0,8 Pa w zakresie 50 000 Pa). Istotą jest inteligentny układ śledzenia pracy zbiornika, rozróżnia on jego odcinki czasu stanów ustalonych kiedy nic się nie dzieje od stanów nieustalonych np. czas pobierania paliwa. Układ ten według przyjętego algorytmu śledzi szczelność zbiornika w odcinkach czasów stanów ustalonych to jest odcinkach pomiarowych. Odpowiednio sumując wyniki z kolejnych odcinków stanów ustalonych układ ocenia i stwierdza alternatywnie nieszczelność lub szczelność. Jeśli stwierdza nieszczelność to ją alarmuje. Jeśli stwierdza szczelność to kontynuuje badanie na następne odcinki pomiarowe aż jest ich wystarczająco dużo. To znaczy czas pojedynczej sesji pomiarowej składa się celowo dobieranej ilości odcinków pomiarowych tak aby był dostatecznie długi do stwierdzenia szczelności z założoną czułością (np. A). Jest tu wykorzystana właściwość że ubytki cieczy przy ewentualnej nieszczelności się sumują w czasie, a pomiar chwilowych wartości parametrów jest wykonywany zawsze z tą samą dużą dokładnością.

ad D Równoczesne zastosowanie do kontroli szczelności dwóch różnych metod ma szereg zalet z których jedną istotną jest ta że metoda ciśnieniowa pozwala na kontrolę całej przestrzeni podłączonej do zbiornika w tym cały osprzęt. Pewnym mankamentem jest konieczność adaptacji zbiornika do pracy ciśnieniowej na ciśnienie np. 20 kPa przez zastąpienie układu oddechowego układem regulacji ciśnienia. Jednak czyni to układ szczelny zgodny z współcześnie wprowadzanymi wymogami ekologicznymi.

3. Zakres zasady działania i podstawy teoretyczne

Przedstawiona niżej metoda umożliwia okresową kontrolę szczelności grupy zbiorników na paliwa płynne, a także monitoring ich szczelności według przyjętego kryterium zgodnie z rozporządzeniem (1) i normą Amerykańską (2).

W metodzie Ultramonit wersja 01 (UM01) użyto równocześnie, znanych dwóch metod badania szczelności wymienionych i zalecanych w rozporządzeniu (1) to jest:

- a) Hydrostatyczna (1§48p.3.6 i p.3.7.) śledzenia poziomu paliwa ultradźwiękowo w zbiorniku (metoda kontroli poziomu)
- b) Gazowa ciśnieniowa (1§48p.3.6 i p.3.7.) (metoda kontroli ciśnienia)

Opis technicznego wyposażenia zamieszczono w następujących rozdziałach

3.1. Metoda kontroli poziomu

3.1.1. Zasada działania

Metoda ta wykorzystuje pomiar poziomu (wysokości) paliwa w zbiorniku za pomocą fal ultradźwiękowych. Głowica ultradźwiękowa umieszczona na dnie zbiornika wysyła fale ultradźwiękową, która odbija się od powierzchni cieczy i wraca z powrotem do głowicy jako echo. Poprzez pomiar czasu przejścia echa oraz na podstawie prędkość fali ultradźwiękowej w cieczy oblicza się drogę, czyli wysokość słupa cieczy. Korzystając z tabeli litrażowania określa się dla zmierzonej wysokości, objętość paliwa w zbiorniku odpowiadającą tej wysokości.

Pomiary poziomu są cyklicznie powtarzane i jest to podstawa do określenia chwilowych wartości poziomu h i na tej podstawie oraz tabeli litrażowania określenia chwilowych wartości objętości V_h cieczy w badanym zbiorniku.

3.1.2 Błąd pomiarów poziomów dh i objętości cieczy dV

Błąd pomiaru wysokości poziomu dh cieczy jest stały i wynosi $\pm 0.05\text{mm}$. Jednak pochodny błąd pomiaru objętości dV jest zmienny bo jest nie tylko funkcją wysokości ale i wartości z tabeli litrażowania. Inaczej w zależności od aktualnego stopnia napełnienia zbiornika błąd pomiaru objętości jest mniejszy lub większy ale zawsze znany.

Pozwala to na określenie aktualnej wartości pomierzonej objętości V_h oraz błędu tego pomiaru

3.1.3 Prędkość wycieku i zasada kryterium szczelności

Podstawą określenia szczelności badanego zbiornika to jest **kryterium szczelności** jest określenie zmian objętości paliwa w jednostce czasu to jest **prędkości wycieku W_h** . Określenie zmian objętości polega na wykonaniu pomiaru poziomu w chwili t_1 i odczytaniu z tabeli litrażowania odpowiadającej mu objętości V_1 oraz wykonania tych samych operacji w chwili t_2 (V_2). Na tej podstawie wylicza się prędkość zmiany objętości (prędkość wycieku)

$$W_h = (V_2 - V_1) / (t_2 - t_1)$$

Porównanie wyliczonej prędkości z maksymalną dopuszczalną prędkością (0.1galona/h) umożliwi stwierdzenie, czy zbiornik jest szczelny.

Proces badania szczelności i jej monitorowania odbywać się w czasie jego eksploatacji w której można wyróżnić czasy spoczynku zbiornika i czasy w których z niego się korzysta np pobiera i uzupełnia paliwo, wymaga to uporządkowania parametrów czasu.

3.1.4. Odcinek pomiarowy, przerwa, suma odcinków, suma przerw, sesja

Czas eksploatacji zbiornika można podzielić na odcinki **pomiarowe i przerwy**. Odcinki pomiarowe są to odcinki czasu kiedy zbiornik jest w bezruchu i postoiu w odcinkach tych układ pomiarowy wykonane pomiary parametrów, zapamiętuje i analizuje to znaczy są one podstawą w analizie szczelności. **Przerwy** to są odcinki czasu z zaburzeniami jak pobieranie i uzupełnianie paliwa i czasy stabilizacji parametrów. W przerwach układ wykonywane pomiary zapamiętuje i analizuje ale nie uwzględnia ich w ocenie szczelności. Parametrami czasu to także **suma odcinków** jest to sumaryczny czas odcinków pomiarowych analogicznie **suma przerw, ponadto sesja pomiarowa** jest to suma wszystkich odcinków pomiarowych i przerw w skrócie sesja.

Różne sesje w zasadzie różnią się czasem trwania, ilością odcinków i przerw. W badaniach okresowych szczelności pojedyncza sesja jest wystarczającą do uznania jako pełne badanie, w monitoringu po zakończeniu kolejnej sesji zaczyna się następna.

3.1.5. Czułość badania

Czułość badania jest podstawowym parametrem w metodzie UM01. i jest parametrem, który może być wynikiem celowego doboru.

Czułość badania C_{Ch} min [cm³/h] określa się jako najmniejszą technicznie możliwą do pomiaru prędkość wycieku.

Przykład

Zbiornik cylindryczny poziomy ok. 10 m³ ma największy przekrój ok. 6 m² co przy błędzie pomiaru wysokości poziomu $dh = \pm 0.05$ mm daje błąd wycieku dV ok. ± 300 cm³. Jeśli porówna się to z dopuszczalną zmianą objętości w ciągu godziny (375 cm³) to wynika, że czułość pomiaru jest zbyt mała, a błąd pomiaru duży i wyciek wynosi

$$C_{Ch} = 300/1 = 300 \text{ cm}^3/\text{h} \quad dV = (300/375) \times 100 = 80 \%$$

co nie pozwala stwierdzić czy zbiornik jest szczelny zgodnie z przyjętym kryterium. Natomiast zwiększając czas pomiaru do np. czterech godzin to czułość, dopuszczalny wyciek i błąd pomiaru prędkości wycieku wynoszą

$$4 \times 375 = 1500 \text{ cm}^3 \\ C_{Ch} = 300/4 = 75 \text{ cm}^3/\text{h} \quad (375/1500) \times 100 = 25 \%$$

Podany przykład ilustruje dwie bardzo istotne cechy metody UM01 mianowicie zwiększając czas badania tj sumę odcinków pomiarowych uzyskujemy:

- I. istotne zwiększenie czułości badania osiągnięte tym samym zestawem sprzętu
- II. istotne zmniejszenie błędów pomiarów.

W metodzie UM01 wbudowane są algorytmy automatycznie ustalające i optymalizujące dobór czasu pomiarów (sumę odcinków) dla uzyskania wymaganej czułości każdej sesji pomiarowej.

Jeśli zadeklaruje się wymaganą czułość badań to zainstalowany system UM01 automatycznie się do niej dopasowuje i to optymalnie w każdej sesji pomiarowej.

**Jest to rzadko spotykana cecha w metrologii,
a jest nowością w badaniach szczelności !!!**

3.1.6. Czas pomiarów (Suma odcinków)

Czas pomiarów to znaczy czas sumy odcinków t_0 w każdej sesji pomiarowej wybierany jest optymalnie dla tej każdej sesji z uwzględnieniem poziomu napełnienia zbiornika, tabeli litrażowania i przyjętego kryterium szczelności. Jeżeli sesja zawiera więcej niż jeden odcinek pomiarowy to błędy pomiaru dV mogą być różne w trakcie różnych odcinków w których stopień napełnienia zbiornika nie musi być identyczny..

Najniekorzystniejszy (największy) dV z nich posłuży do określenia minimalnego czasu trwania pomiarów to jest **sumy odcinków pomiarowych minimum** - t_0 min. wydułg zależności:

$$t_0 = X dV_{i \max} / kr \quad (1)$$

- t_0 [h] – czas trwania próby szczelności – suma odcinków pomiarowych
 X - – wskaźnik przyjętej względnej czułości badania
 h_i [mm] – zbiór pomierzonych wartości wysokości napełnień zbiornika dla różnych odcinków pomiarowych w danej sesji
 dV_i [l] – zbiór odczytanych z tabeli litrażowania stopni napełnień zbiornika dla pomierzonych h_i
 $dV_{i \max}$ [l] – największa wartość ze zbioru dV_i
 kr [l/h] – kryterium szczelności – (0,375) l/h

Wskaźnik przyjętej względnej czułości badania oznacza z jaką względną czułością w stosunku do kryterium kr będą wykonywane badania. Wskaźnik X należy przyjmować nie mniej niż 2 ale np. 4, 5, 8, 10 przyjęcie wyższych wskaźników niż 10 nie jest celowe ze względu na wydłużanie sesji a lepiej jest wykonać więcej sesji krótszych. Standardowo przyjmuje się $X=5$. (błąd 20%)

Przedstawiony wzór (1) na czas trwania sesji pomiarowej może w trakcie kolejnych odcinków pomiarowych być przedłużony jeśli kolejny dV_i ma większą wartość od poprzednich.

3. 7. Oznaczenia i zależności

Wprowadzamy następujące oznaczenia

lp	indeks	Oznaczenie	
1	i	numer (indeks) odcinka pomiarowego	
2	t_i	czas trwania i-tego odcinka pomiarowego	
3	t_o	sumaryczny czas odcinków pomiarowych	
4	t_p	sumaryczny czas przerw pomiędzy odcinkami pomiarowymi	
5	t_{ses}	czas trwania sesji próby szczelności – całkowity czas trwania próby szczelności na który składają się odcinki pomiarowe oraz przerwy	
6	H_{min}	minimalna zarejestrowana wysokość podczas próby szczelności	
7	H_{ipocz}	zarejestrowana wysokość na początku odcinka pomiarowego	
8	H_{ikon}	zarejestrowana wysokość na końcu odcinka pomiarowego	
9	V_{ipocz}	objętość cieczy na początku odcinka pomiarowego	
10	V_{ikon}	objętość cieczy na końcu odcinka pomiarowego	
11	$L(H)$	funkcja umożliwiająca przeliczenie wysokości na objętość (np. tabela litrażowania)	
12	ΔV_i	zmiana objętości dla i-tego odcinka pomiarowego	
13	ΔV	zmiana objętości cieczy podczas próby szczelności	
14	W_{wy}	prędkość wypływu	

Zachodzą następujące zależności

$$V_{ipocz}=L(H_{ipocz}) \quad (2)$$

$$V_{ikon}=L(H_{ikon}) \quad (3)$$

$$\Delta V_i=V_{ikon}-V_{ipocz} \quad (4)$$

$$\Delta V=\sum \Delta V_i \quad (5)$$

$$t_{odc}=\sum t_i \quad (6)$$

$$t_{odc}>t_{szcz} \quad (7)$$

$$t_{ses}=t_{odc}+t_p \quad (8)$$

$$W_{wy}=dV/t \quad (9)$$

3.8 Kryterium szczelności:

Zbiornik jest szczelny do wysokości **H_{min}** , jeśli

$$W_{wy} < W_{dop}$$

3.2 METODA CIŚNIENIOWA

3.2.1. Zasada działania

Metoda ciśnieniowa polega na utrzymywaniu niewielkiego nadciśnienia w badanym zbiorniku i ciągłym pomiarze jego wartości za pomocą specjalnych czujników. W wyniku nieszczelności wskutek ubytku gazu lub ubytku cieczy w zbiorniku następuje jego spadek.

3.2.2. Relacja pomiędzy zmianą ciśnienia gazu a równoważną zmianą objętości cieczy.

Ponieważ kryterium szczelności określa prędkość wypływu cieczy, a metody mierzy ciśnienie dlatego zachodzi konieczność przejścia ze zmian ciśnienia gazu na zmiany objętości cieczy. Równoważna zmiana objętości cieczy, która wywoła taką samą zmianę ciśnienia gazu określa wzór

$$\Delta V = |(V_{\text{zbiornika}} - V_{\text{cieczy}}) * (T_1 p_2 / (T_2 p_1) - 1)| \quad (10)$$

gdzie

$V_{\text{zbiornika}}$ – objętość zbiornika

V_{cieczy} – objętość cieczy w zbiorniku

p_1 - ciśnienie nominalne (początkowe) w zbiorniku

p_2 - ciśnienie końcowe zbiorniku

T_1 - temperatura gazu podczas pomiaru p_1

T_2 – temperatura gazu podczas pomiaru p_2

3.2.3. Błąd pomiarów ciśnienia i zmian objętości cieczy dV

Błąd pomiaru ciśnienia gazu dp jest stały i wynosi 1Pa. Pochodny błąd pomiaru zmian objętości dV określa zmodyfikowany wzór:

$$dV = |(V_{\text{zbiornika}} - V_{\text{cieczy}}) * dp / p_1| \quad (11)$$

Z krótkiej analizy tego wzoru wynika, że dV jest zależne od stopnia napełnienia zbiornika podobnie jak w przypadku pomiaru szczelności metodą śledzenia poziomu

3.2.3. Czulość metody i czas trwania pomiarów

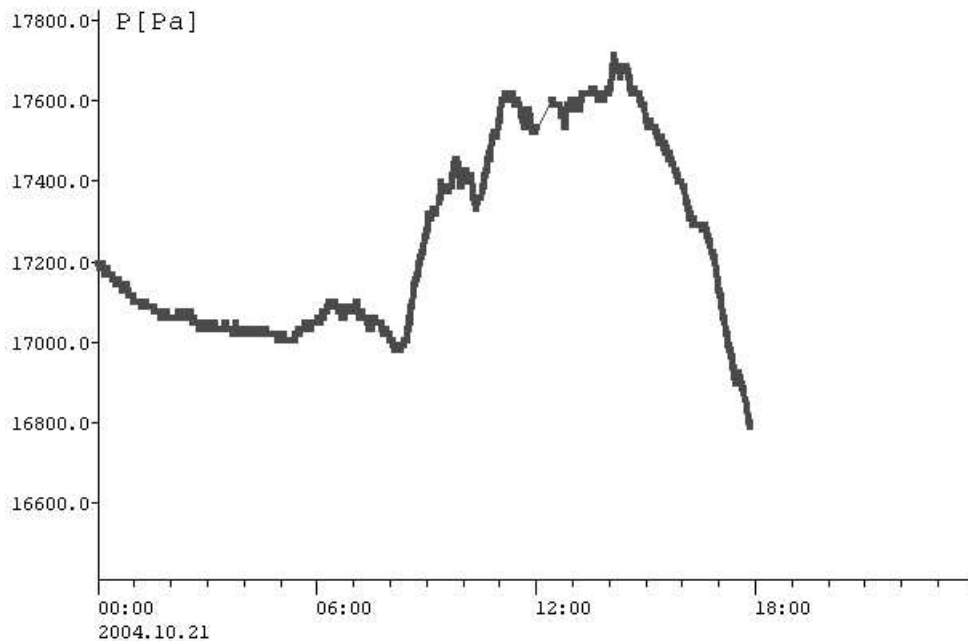
Dzięki możliwości przeliczenia zmian ciśnienia na zmiany objętości wszystkie pojęcia i wzory które miały zastosowanie w przypadku metody poziomej odnoszą się również do metody ciśnieniowej

3.2.4. Uzupelnianie gazu

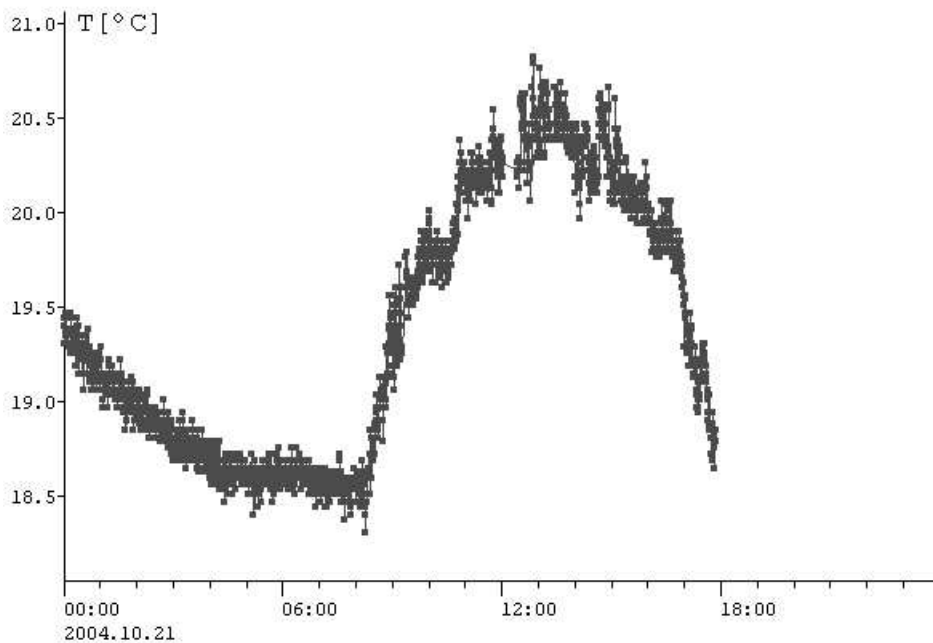
Oprócz spadków ciśnienia spowodowanych nieszczelnością, spadki powstają także wskutek pobierania paliwa przez dystrybutor. Zachodzi wówczas konieczność uzupełnienia gazu do wymaganego ciśnienia nominalnego. Zapewnia to specjalny układ regulacji ciśnienia. Regulacja ciśnienia nasępuje tylko w czasie przerw.

3.2.5. Wpływ temperatury

Ze wzoru (10) wynika konieczność pomiaru temperatury, gdyż wpływa ona znacząco na ciśnienie wewnątrz zbiornika. Na rysunku niżej przedstawiono przykładowy wpływ temperatury gazu na ciśnienie w zbiorniku



Rys.1. Wykres zmian ciśnienia w funkcji czasu wykres temperatur Rys.2



Rys.2 Wykres zmian temperatury gazu w funkcji czasu wykres ciśnienia Rys.1

Na podstawie obu wykresów można stwierdzić silną korelację pomiędzy temperaturą, a ciśnieniem co pozwala na dość dokładną kompensację wpływu temperatury na pomiar ciśnienia według zależności

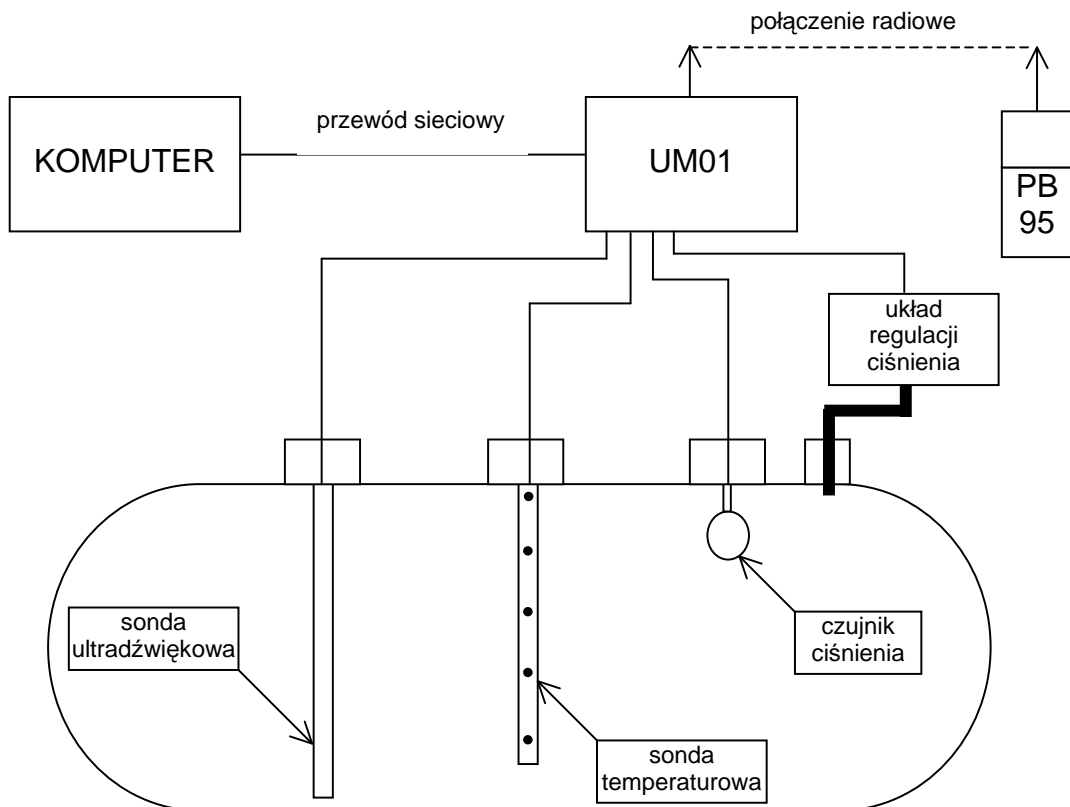
$$P_2 = P_1 (T_2 / T_1) \quad (12)$$

4. Techniczna realizacja metody Ultramonit

System pomiaru szczelności Ultramonit umożliwia pomiar metodą śledzenia poziomu, i pomiary ciśnieniowa oraz oddzielnie lub razem. W w zasadzie pomiar przeprowadza się obydwoma metodami równocześnie) system składa się z następujących elementów:

- (a) interfejs UM01,
- (b) komputer klasy PC (przenośny lub stacjonarny) z odpowiednim oprogramowaniem
- (c) czujnik przesyłający informację o pracy dystrybutora (włączony / wyłączony) drogą radiową do UM01 (po jednej sztuce na każdy dystrybutor)
natomiast każdy badany zbiornik lub komorę należy wyposażyć w :
 - (d) sondę ultradźwiękową UM01 do pomiaru wysokości słupa cieczy w zbiorniku
 - (e) sondę temperaturową UT01
 - (f) sondę ciśnieniową do pomiaru ciśnienia UP01
 - (g) układ regulacji ciśnienia (może zawierać elementy wspólne dla wszystkich zbiorników)

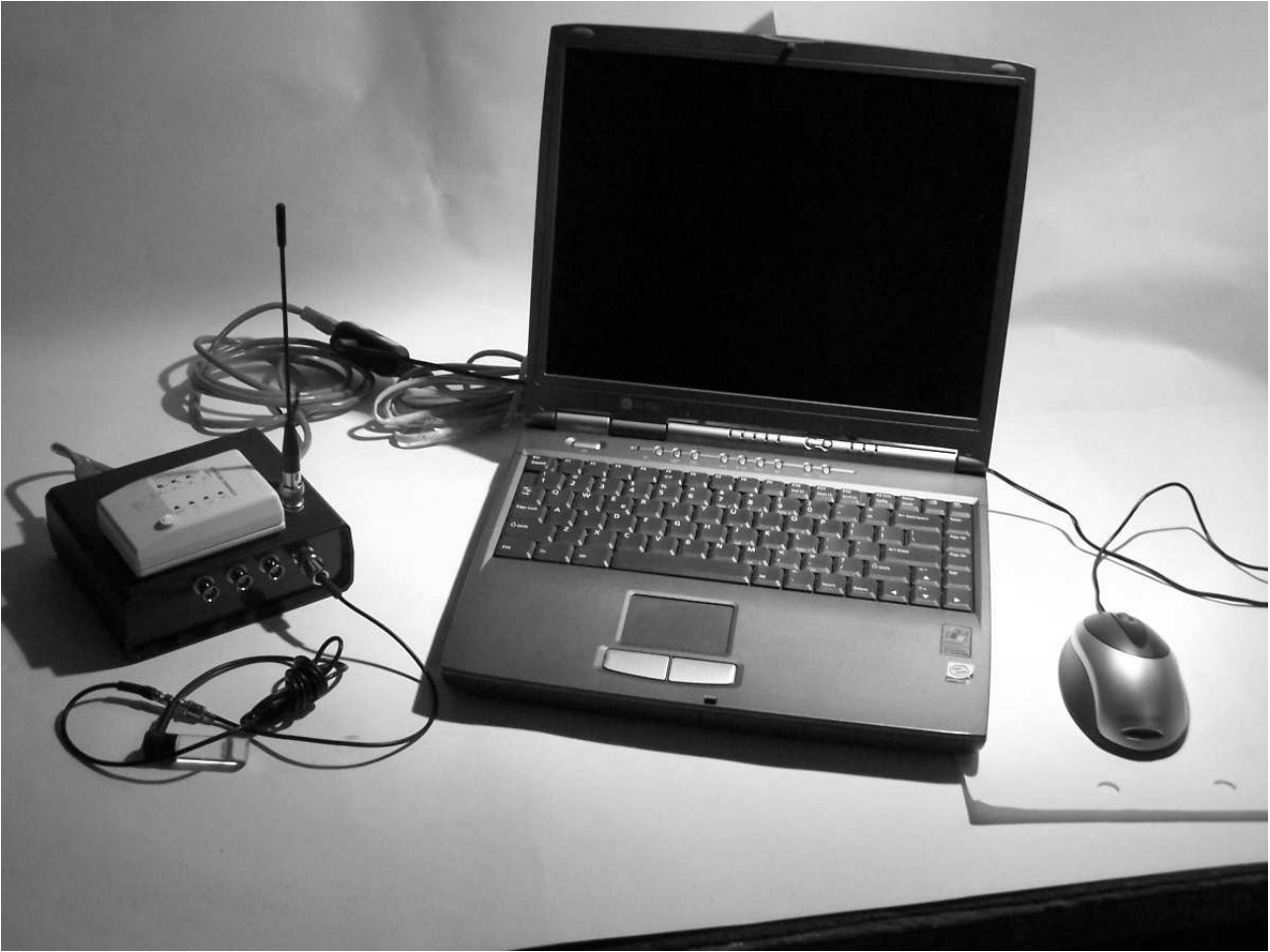
Sondy (d), (e), (f), mogą być zblokowane.



Rys.3. Schemat połączeń między elementami systemu

4.1. Interfejs UM01

Interfejs UM01 stanowi interfejs pomiędzy elementami wykonawczymi pomiaru (sondy, czujnik, itd.) a komputerem. Jest to inteligentne urządzenie sterowane mikroprocesorowo, które umożliwia wstępne przetwarzanie zarejestrowanych danych z różnych czujników, a także sterowanie układem regulacji ciśnienia. Prototyp urządzenia zawiera 4 kanały (jeden kanał na zbiornik lub komorę) z możliwością rozszerzenia do 8. Interfejs wymienia dane z komputerem poprzez sieć, co zapewnia z w miarę szybkie i niezawodne połączenie. UM01 zawiera także 8 kanałowy odbiornik sygnałów radiowych o pracy dystrybutora (dla każdego dystrybutora przydzielony jest jeden kanał).



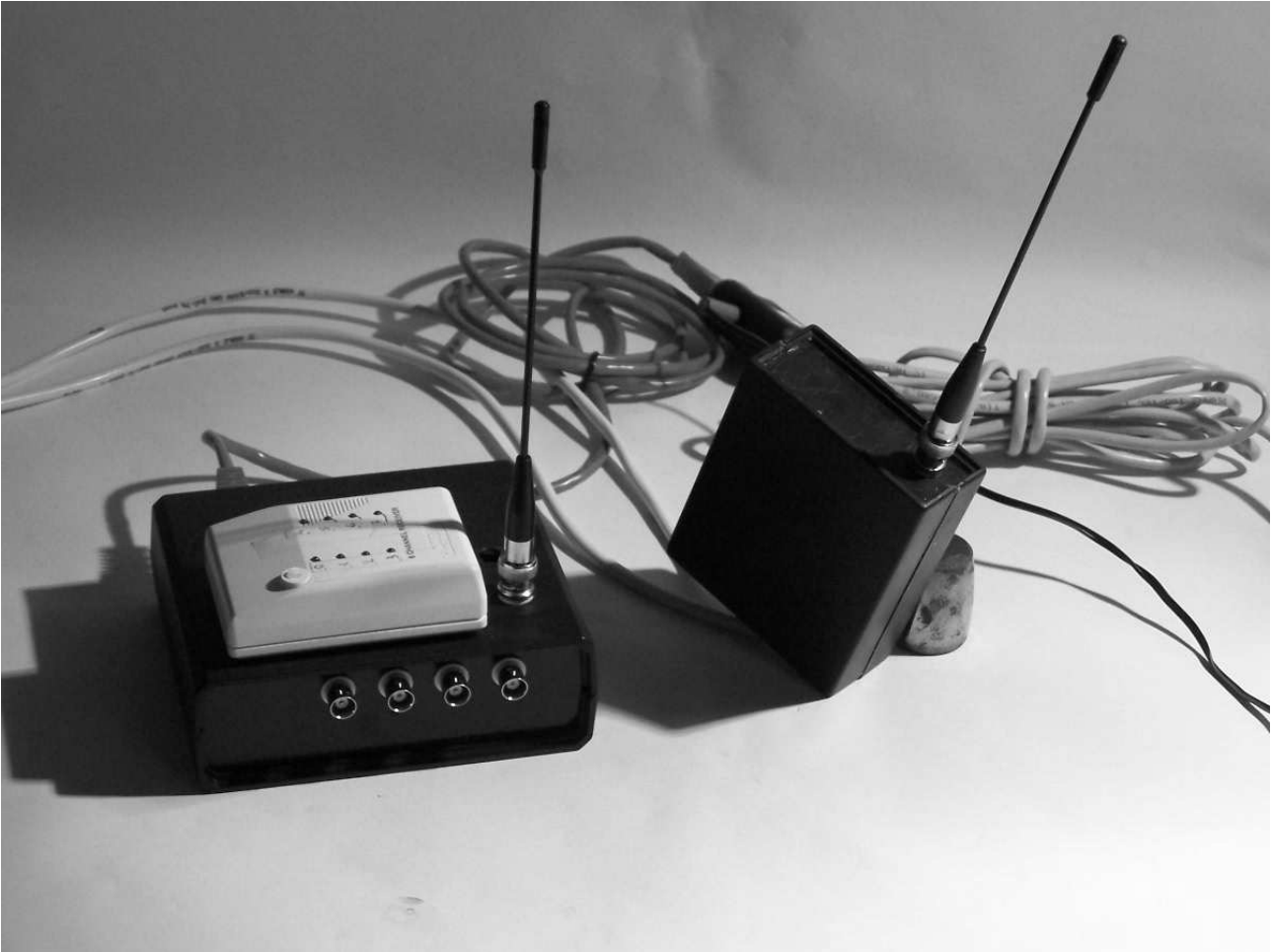
Rys.4. Inrefejs UM010 Antena do kontaktu z czujnikiem aktywności dystrybutora ośmiu kanałowy sterownik czujników kabli połączeń sieciowych

4.2. Komputer PC

Komputer PC jest sercem systemu monitorowania szczelności. Może to być zwykły komputer PC wyposażony w kartę sieciową i dostarczone przez firmę ULTRA oprogramowanie. Dostarczone oprogramowanie umożliwia cykliczną rejestrację danych pochodzących z interfejsu UM01 tj. poziom paliwa, ciśnienie i temperatury, które służą do odpowiedniej korekcji ciśnienia oraz automatyczną analizę odebranych danych

4.3. Czujnik aktywności dystrybutora

Podczas wykonywania i rejestracji pomiarów zachodzi konieczność odrzucenia pomiarów, jeśli działają urządzenia mogące zakłócić pomiary. Jednym z tych urządzeń są dystrybutory. Pomiar należy odrzucić jeśli stwierdzono pracę dystrybutora w momencie rejestracji pomiaru lub okresie poprzedzającym pomiar. Do stwierdzenia aktywności dystrybutorów wykorzystano fakt, iż każdorazowe jego włączenie załącza pompę paliwową. Informacje o załączaniu pompy paliwowej (pojawieniu się napięcia na silniku pompy) przesyłane są drogą radiową do interfejsu UM01 i stamtąd mogą być przesłane do komputera. Ze względu na ostre wymogi przeciwwybuchowe cały czujnik zalany jest żywicą epoksydową. Do przesyłania radiowego wykorzystano gotowe urządzenia sygnalizacyjne produkowane przez firmę SOTRON działające na częstotliwości ok. 493MHz. Na zdjęciu niżej przedstawiono wygląd takiego czujnika.



Rys 5 Inrefejs UM0010 z anteną i ośmiu kanałowym sterownikiem czujników
czujnik aktywności dystrybutora, czujnik aktywności dystrybutora z anteną

4.4 Sonda ultradźwiękowa

Sonda ultradźwiękowa służy do pomiaru wysokości cieczy w zbiorniku. Sonda zbudowana jest z czujnika ultradźwiękowego umieszczonego na dnie miedzianej rurki. Ze względu na ostre wymagania przeciwwybuchowe przewód doprowadzający sygnał do przetwornika ultradźwiękowego oraz miedziana rurka włożone są do wnętrza rurki o większej średnicy w całości zalana żywicą.

4.5 Sonda ciśnieniowa

Sonda ciśnieniowa zawiera elektroniczny czujnik do pomiaru ciśnienia. W tym rozwiązaniu zastosowano czujnik **tensometryczny** z przetwornik ciśnienie / napięcie o zakresie pomiarowym od 0 do 50 000 Pa. Na wyjściu czujnika pojawia się napięcie proporcjonalne do ciśnienia. 0 do 5 000 mV. Czujnik ten jest podłączony do interfejsu UM01, gdzie następuje pomiar tego napięcia poprzez 16 bitowy przetwornik A/C co umożliwia cyfrowe przetwarzanie i wyliczenie ciśnienia. W efekcie uzyskana dokładność odczytu P to:

$$P=50\ 000/2^{16} = \text{ok. } 0,8 \text{ Pa } (13)$$

4.6. Sonda temperaturowa

Ciśnienie w zbiorniku jest funkcją temperatury gazu zgodnie z zależnością (12 str8), stąd wynika konieczność pomiaru temperatur, aby w razie konieczności można było zastosować korekcję. Pomiar temperatury realizowany jest za pomocą sondy składającej się z sześciu termometrów elektronicznych zapewniających rozdzielczość pomiaru temperatury 0.03⁰ C.

4.7. Układ regulacji ciśnienia

Układ regulacji ciśnienia ma za zadanie wytworzyć ciśnienie próbne w zbiorku. Pomierzony ewentualny spadek ciśnienia poddany analizie jest podstawą do stwierdzenia nieszczelności. Na przemian kolejno po odcinku pomiarowym następuje przerwa w której działa dystrybutor, ubywa paliwa, a więc i maleje ciśnienie. Jeśli ciśnienie spadnie poniżej założonego poziomu to należy je uzupełnić przed następnym odcinkiem pomiarowym. Układ regulacji ciśnienia robi to automatycznie w miarę potrzeb zawsze tylko podczas przerwy. Sterowania wykonuje układ UM01 natomiast uzupełnienia ciśnienia mogą być wykonywane w kilku wariantach poprzez:

- centralną sprężarkę - dmuchawę
- indywidualne lub grupowe sprężarki - dmuchawy
- bateria butli z azotem (z jednej butli ok. 10 m³ azotu po rozprężeniu)

4.8. Opis programu

Do sterowania całym systemem służy specjalny program uruchamiany na komputerze typu PC. Program może pracować w dwóch trybach:

- standardowym tj. monitorowanie szczelności
- niestandardowym

Program po uruchomieniu wyświetla planszę startową jak na rys niżej, z której można przejść do planszy podstawowej umożliwiającej ustawianie parametrów pomiarów – przycisk „Pierwsze uruchomienie” lub od razu do monitorowania szczelności – przycisk „Następne uruchomienie”.



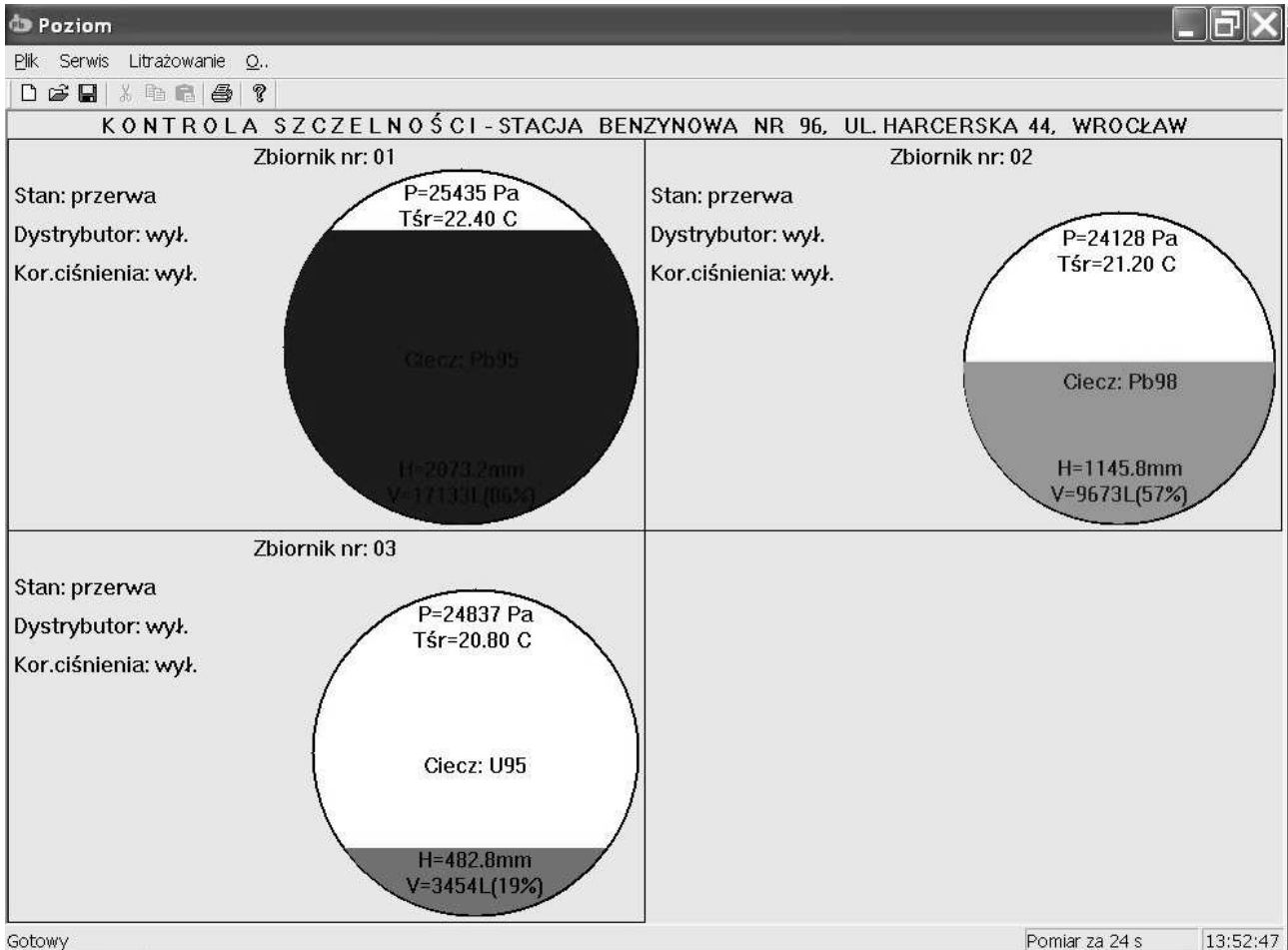
Rys 6 Plansza startowa systemu w metodzie ULTRAMONIT

4.8.1. Praca w trybie standardowym

Jest to podstawowy tryb pracy programu. Praca w tym trybie polega na

- wykonywaniu i rejestracji pomiarów z zadaną częstotliwością
- wizualizacji odczytanych pomiarów
- analizie zarejestrowanych pomiarów tj. podział na sesje pomiarowe, podział na odcinku pomiarowe i przerwy
- szacowaniu na bieżąco szczelności na podstawie dotychczasowych pomiarów
- informowania i alarmowania na bieżąco o nieszczelności zbiorników

Podstawowa plansza na zdjęciu niżej przedstawia kompletny i aktualny stan kontroli grupy zbiorników np. stację benzynową. Ponadto umożliwia obsłudze ingerencję w pracę systemu zgodnie z listą ingerencji dozwolonych np. koniec pracy i inne.



Rys 7 Plansza podstawowa systemu w metodzie ULTRAMONIT

Przekrojem kołowym oznaczono przekrój zbiornika. Na tym przekroju dla każdego zbiornika kolorem zależnym od rodzaju cieczy (paliwa) zaznaczono stan jego napełnienia, a kolorem białym przestrzeń gazową. Dodatkowo w przekroju pojawia się informacja o wykonanym ostatnio pomiarze tj. zmierzone ciśnienie, średnia temperatura, typ cieczy w zbiorniku, zmierzony poziom i odpowiadająca jemu objętość. Po prawej stronie dla każdego zbiornika wyświetlany jego stan pomiaru szczelności (odcinek pomiarowy lub przerwa), stan dystrybutora oraz korekta ciśnienia informująca czy w istniejącej lub ostatniej przerwie występuje lub występowało uzupełnianie gazu w zbiorniku.

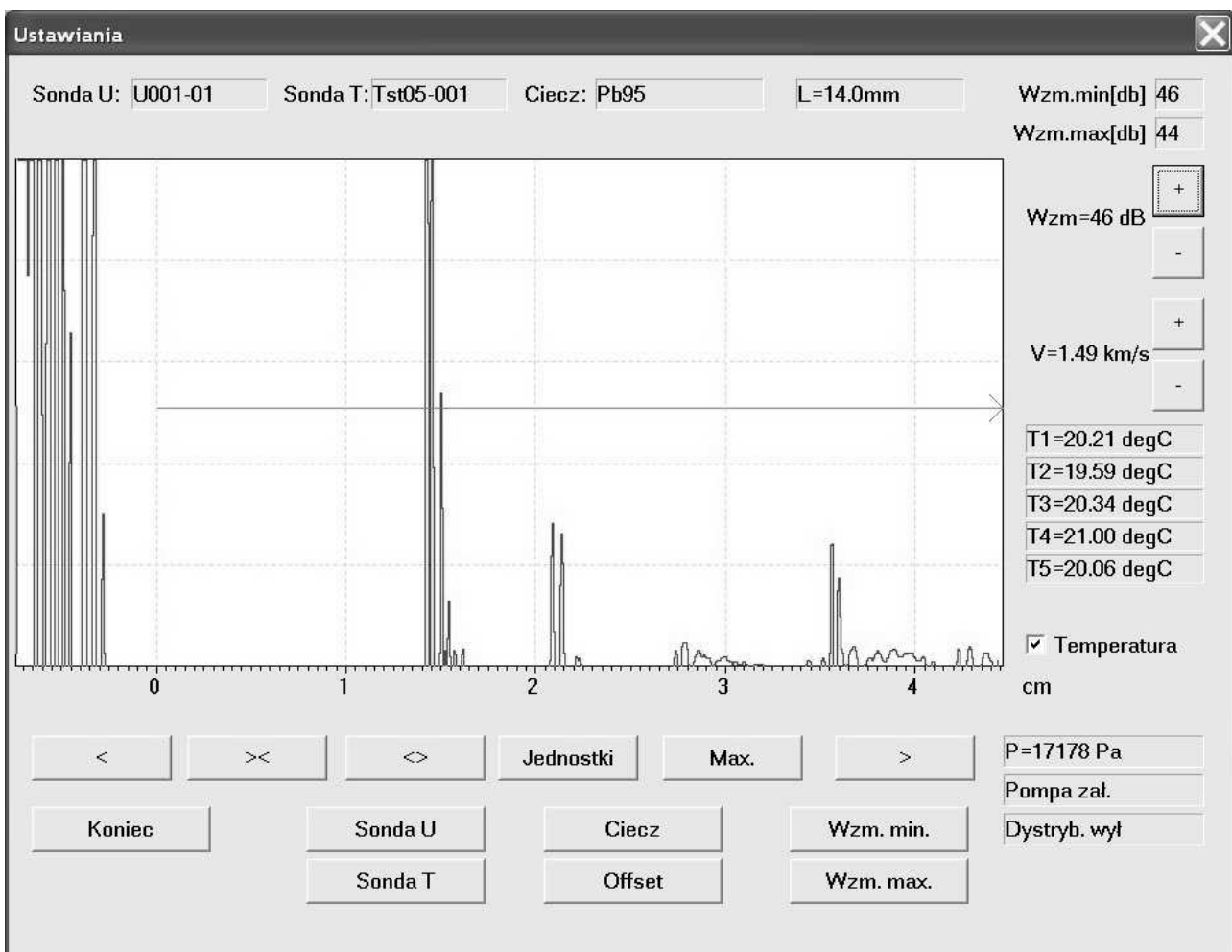
Dodatkowo w prawym dolnym rogu pojawia się aktualny czas, oraz czas do wykonania następnego pomiaru. W trakcie wykonywania pomiaru pojawia się na dole ekranu nazwa zbiornika dla którego pomiar jest wykonywany.

4.8.2. Praca w trybie niestandardowym

Praca w trybie niestandardowym umożliwia wykonanie dodatkowych czynności związanych z monitorowaniem szczelności. Umożliwia ona

- dodawanie nowych zbiorników do monitorowania szczelności
- zmianę parametrów pomiarów szczelności
- przeprowadzenie litrażowania
- wprowadzenie tabeli litrażowania ręcznie
- przeglądanie zarejestrowanych pomiarów w formie wykresów
- przeglądanie wyników badań szczelności
- operacje statystyczne na zarejestrowanych pomiarach np. obliczenie ilości paliwa pobranych przez dystrybutory, itp.

Na rysunku niżej przedstawiono planszę korekcyjną na której sprawdza się poprawność pracy kanału jednego zbiornika oraz istnieje możliwość korygowania / zmiany niektórych parametrów pomiaru.



Rys 8 Plansza korekcyjna systemu w metodzie ULTRAMONIT

Na środku planszy w białym tle wyświetlany jest sygnał głowicy ultradźwiękowej służący do pomiaru wysokości. Niebieska linia na tym ekranie oznacza marker, którego zasięg określa przedział mierzonych wysokości, a położenie w pionie w połączeniu ze wzmocnieniem minimalną amplitudę sygnału ultradźwiękowego. Położenie markera w pionie i w poziomie można zmieniać za pomocą myszy. Nad tym oknem wyświetlane są:

- typ wybranej sondy ultradźwiękowej
- typ wybranej sondy temperaturowej

- typ cieczy (paliwa)
- zmierzona wysokość

Obok po prawej stronie wyświetlane są temperatury z odczytane z sondy temperaturowej, zmierzone ciśnienie, stan układu regulacji ciśnienia oraz stan dystrybutorów. Wyświetlane dane są co chwila aktualizowane (ok. 10 razy na sekundę)

5. Wzorcowanie

Wzorcowanie umożliwia sprawdzenie poprawności pomiarów zmian objętości cieczy metodą poziomową i/lub ciśnieniową. Wzorcowanie polega na odlaniu określonej ilości cieczy zwanej objętością wzorcowania i zaobserwowaniu reakcji systemu monitorowania szczelności. Zgodnie z tym co napisano wcześniej układ monitorowania powinien zareagować informując ilościowo o zmierzonym ubytku cieczy. Gdy różnica pomiędzy objętością wzorcowania a zmierzonym ubytkiem jest niewielka to pomiar uznaje się za poprawny, co jest jednocześnie dowodem na poprawność i wiarygodność przeprowadzanego pomiaru.

5. Wnioski

- Zaprezentowana metoda monitorowania szczelności pozwala z dużą czułością stwierdzić szczelność lub nieszczelność zbiornika w bardzo krótkim czasie od powstania nieszczelności.
- Okresowe badania oraz monitoring nie wymagają przerw w eksploatacji zbiornika.
- Wzorcowanie każdej próby oraz próby wykonywane w monitoringu okresowo, jest na podstawie automatycznie wykonywanych wykresów dowodem pełnej wiarygodności wykonanej próby.

6. Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18.09.2001 (Dz.U.Nr113,poz.1211)
- [2] Electronic Code for Federal Regulations, Part 280 – norma amerykańska
- [3] DEMBOWSKI W., MICHNOWSKI W.,MIERZWA J.:ULTRAMOD Badanie szczelności podziemnych zbiorników zmodyfikowaną metodą ultradźwiękową, Świat Paliw . NR 2(20)
- [4] Władysław Michnowski, Jarosław Mierzwa, Badanie szczelności zbiorników paliwowych, Materiały Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących Szczyrk 2002
- [5] EN1779:1999 Non destructive testing-Leak testing – Criteria for method and technique selection
- [6] PN-EN 1330-8:2001 Badania nieniszczące- Terminologia- Terminy stosowane w badaniach szczelności.
- [7] Warunki Urzędu dozoru Technicznego WUDT-ZB/ WO-P-03/2004