

Pionownik optyczny stosowany do wzorcowania zbiorników pomiarowych do cieczy

Tadeusz Lach, Andrzej Lewicki (Biuro Metrologii Prawnej, GUM)

W artykule przedstawiono sposób wzorcowania zbiorników pomiarowych do cieczy za pomocą metody optycznej linii odniesienia, dokonywanego podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych. Metoda wykorzystuje pomiary obwodu zbiornika stanowiącego obwód odniesienia, za pomocą przymiaru wstęgowego oraz pomiary odchyłek ściany zbiornika, za pomocą optycznego przyrządu pomiarowego na zadanej liczbie pionowych optycznych linii odniesienia. Metoda ta jest stosowana przez Obwodowy Urząd Miar w Warszawie.

This article describes calibration of vertical cylindrical tanks using optical reference line method. The method uses measurement of one reference circumference by strapping line. Then other circumferences are determined at different levels from measurements of radial offsets from the reference one. The article also describes equipment used for those measurements. The optical reference line method is one of the method used by Local Verification Offices in Warsaw.

Wprowadzenie

Zbiorniki pomiarowe do cieczy posadowione na stałe, służące do pomiaru objętości cieczy, podlegają prawnej kontroli metrologicznej. Są to zbiorniki naziemne i podziemne, wyposażone w urządzenia do pomiaru wysokości napełnienia. Mogą być one wyposażone w dach stały, dach stały i wewnętrzny dach pływający oraz w dach pływający.

Prawna kontrola metrologiczna, obejmująca zatwierdzenie typu i legalizację pierwotną oraz legalizację ponowną, jest wykonywana w miejscu zainstalowania zbiorników. Zarówno podczas badań typu, legalizacji pierwotnej oraz legalizacji ponownej zbiorników pomiarowych do cieczy posadowionych na stałe, administracja miar przeprowadza wzorcowanie zbiornika. Wzorcowanie służy do wyznaczenia tablicy objętości zbiornika, w której podane są wartości objętości cieczy zawartej w zbiorniku, w zależności od wysokości jego napełnienia. Może być ono dokonywane metodą objętościową, metodami geometrycznymi oraz kombinacją metody objętościowej i jednej z metod geometrycznych.

Ogólnie, metody geometryczne, tj:

- metoda opasania z użyciem przymiaru wstęgowego,
- metoda optycznej linii odniesienia,
- metoda optyczno-triangulacyjna,
- metoda wewnętrznego elektrooptycznego pomia-

ru odległości albo metoda zewnętrznego elektrooptycznego pomiaru odległości polegają na pomiarze wymiarów geometrycznych, niezbędnych do obliczenia powierzchni poziomego przekroju carg zbiornika, wysokości carg, wewnętrznych urządzeń zbiornika i pochylenia zbiornika. W przypadku zbiorników z dachem pływającym konieczne jest dokonanie częściowego zalewu zbiornika i odczytanie wskazania wysokości napełnienia oraz ewentualne wyznaczenie wyporności dachu pływającego.

W dalszej części zostanie omówiona metoda optycznej linii odniesienia do obliczenia powierzchni poziomego przekroju carg zbiornika.

Metoda optycznej linii odniesienia – ogólna charakterystyka. Przyrządy pomiarowe stosowane w tej metodzie

Metoda optycznej linii odniesienia należy do grupy metod geodezyjnych (geometrycznych). Została opisana w normie ISO 7507-2:2005 *Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 2: Optical-reference-line method*. Polska nazwa metody – metoda optycznej linii odniesienia. Norma ta była poprzedzona normą ISO 7507-2 z 1993 r., pierwsze wydanie.

Norma przewiduje wzorcowanie zbiorników w kształcie cylindra stojącego, których średnica jest

większa od 8 m. Jednakże zgodnie z przepisami rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 22 stycznia 2008 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać zbiorniki pomiarowe, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. z 2014 r., poz. 1094), zbiorniki posadzone na stałe w kształcie cylindra mogą być zamontowane w pozycji stojącej, przy której główna oś symetrii zbiornika jest prostopadła do powierzchni swobodnej cieczy zawartej w zbiorniku z odchyleniem od pionu nie większym niż 3 %. W takim przypadku norma ta uwzględnia poprawki przy odchyleniu dochodzącym do 3 %, opisane w normie ISO 7507-1.

Przyrządy pomiarowe stosowane przy tej metodzie

Wyposażenie pomiarowe, które może być stosowane przy wykorzystaniu metody optycznej linii odniesienia, to:

- optyczny przyrząd pomiarowy (pionownik optyczny),
- pion,
- poziomnica,
- teodolit,
- wózek z podzielną,

Układ pomiarowy złożony z ww. przyrządów powinien zapewniać utrzymanie linii odniesienia w pionie. Do zapewnienia usytuowania linii odniesienia w pionie, optyczny przyrząd pomiarowy – pionownik optyczny może wykorzystywać urządzenia do wypoziomowania ręcznego albo urządzenia do wypoziomowania automatycznego. Ogniskowa zastosowanych przyrządów optycznych (pionowników) powinna umożliwiać ich zogniskowanie na „poziomie” dokonywanych pomiarów na wysokości roboczej.

Przyrządy optyczne (pionowniki optyczne) powinny mieć rozdzielczość wynoszącą co najmniej 1:20 000 i być wyposażone w teleskop o powiększeniu nie mniejszym niż 20x. Pryzmatyczna nasadka pentagonalna, stosowana do współpracy z poziomnicą lub teodolitem, nie może wprowadzać żadnych uchybów kolimacji.

Pionowniki optyczne mogą być wyposażone w pojedynczy układ optyczny, tj. w pion zenitalny lub w podwójny układ optyczny albo w pojedynczy



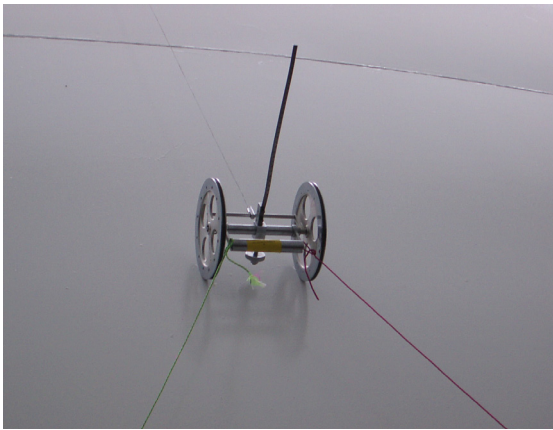
Zdjęcie pionownika optycznego będącego na wyposażeniu administracji miar. Na zdjęciu jest widoczny również wózek magnetyczny z podzielną.

fol. arch. własne

superpozycyjny układ optyczny wyznaczający linie optyczne w górę i w dół, w odniesieniu do poziomu linii obserwacji. Dla stabilności linii odniesienia zaleca się, aby zastosowany pionownik nie miał żadnych ruchomych elementów w swym układzie optycznym, takich jak pryzmaty i lusterka.

Urządzenia pomocnicze

Wózek magnetyczny o solidnej konstrukcji mechanicznej powinien być wyposażony w magnesy, które zapewnią jego stały kontakt z płaszczyzną zbiornika, uchwyt do przymocowania linki oraz wyskalowaną w jednostkach długości *mm* podzielną. Podzielnia ta powinna być tak zamontowana na wózku, aby gwarantowało to prostopadłe jej usytuowanie do płaszczyzny zbiornika. Jednocześnie podzielnia ta powinna znajdować się jak najbliżej układu jezdnego wózka, aby zapewnić jak najmniejsze błędy spowodowane odkształceniem płaszczyzny zbiornika. W przypadku doboru długości podzielni, należy mieć na względzie odległość ustawienia od ściany zbiornika optycznego przyrządu pomiarowego (pionownika).



Na zdjęciu wózek magnetyczny z podzielną. Podzielnia jest naniesiona na dolnej części przymiaru.
fot. arch. własne



Zdjęcie uchwyty. Uchwyt posiada możliwość regulacji położenia górnego punktu odniesienia linii pionu. W górnym prawym rogu uchwyty znajduje się błoček do nawinięcia linki (konstrukcja własna administracji miar).
fot. arch. własne



Zdjęcie uchwyty zamontowanego na koronie zbiornika
fot. arch. własne

Do zawieszenia wózka magnetycznego na ścianie zbiornika służy specjalny uchwyt, który jest mocowany na koronie zbiornika. Uchwyt w skrajnym położeniu posiada błoček do nawinięcia linki utrzymującej wózek magnetyczny w pionie.

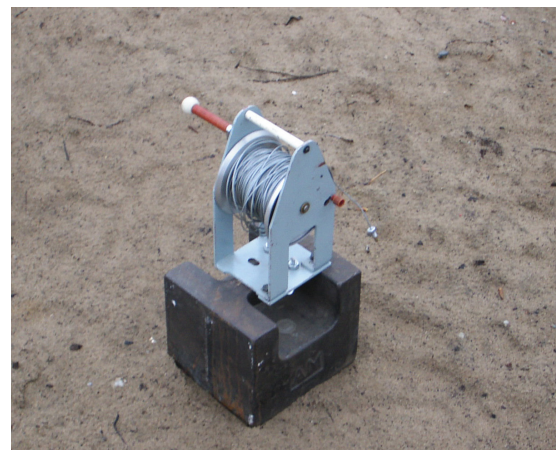
Do utrzymywania wózka magnetycznego w położeniu roboczym oraz do jego przemieszczania w górę i w dół służy wciągarka z urządzeniem zapadkowym do ustawienia wózka na danym poziomie.

Procedura wzorcowania

Metodę optycznej linii odniesienia oparto na dokładnym pomiarze obwodu stanowiącego obwód odniesienia, wykonanego za pomocą wywzorcowanego przymiaru wstęgowego na jednym danym poziomie. Pomiar stanowiący obwód odniesienia jest dokonywany na takim poziomie, aby był wiarygodny i dokonany bez jakichkolwiek przeszkód.

Obwody pochodne oblicza się z obwodu odniesienia i z pomiarów offsetu, wykonywanych na danych poziomach i na obwodzie odniesienia. Offsety te stanowią miarę odchyłki ściany zbiornika. Mierzy się je na zadanej liczbie pionowych optycznych linii odniesienia, równomiernie rozmieszczonych wokół zbiornika.

Przed dokonaniem pomiaru za pomocą metody optycznej linii odniesienia, zbiornik powinien być napełniony do pojemności nominalnej i tak pozostawiony na co najmniej 24 godziny przed przystąpieniem do wzorcowania. Za pomocą tej metody można wzorcować zbiorniki z dachem pływającym, przy



Zdjęcie wciągarki

fot. arch. własne

czym dach pływający powinien być usytuowany w najniższym jego położeniu, spoczywając na podporach.

Wyznaczenie obwodu odniesienia

Wyznaczenie obwodu odniesienia powinno zostać wykonane metodą odniesienia, opisaną w normie ISO 7507-1, z uwzględnieniem następujących czynników:

- 1) należy wykonać pomiar obwodu odniesienia przed rozpoczęciem pomiarów optycznych;
- 2) należy dokonać pomiaru obwodu odniesienia w miejscu leżącym w zasięgu ogniskowej przyrządu optycznego. Należy opasać przymiarem wstęgowym zbiornik na jednym z następujących poziomów:
 - a) 1/5 do 1/4 wysokości cargi zbiornika nad dolnym poziomym łączeniem blach zbiornika (poziomym spawem),
 - b) 1/5 do 1/4 wysokości cargi zbiornika pod górnym poziomym łączeniem blach zbiornika (poziomym spawem)

oraz powtórzyć pomiar. Pomiar obwodu powinien być wykonany z tolerancją wynoszącą do 25 m równą ± 2 mm, od 25 m do 50 m ± 3 mm, od 50 m do 100 m ± 5 mm, od 100 m do 200 m ± 6 mm oraz powyżej 200 m ± 8 mm.

Norma dopuszcza przypadek, w którym jeżeli wyznaczenie obwodu nie będzie możliwe do jego wykonania na zewnątrz zbiornika, można dokonać niezbędnych pomiarów od wewnątrz zbiornika metodą zapewniającą stopień dokładności nie gorszy niż w metodzie zewnętrznego pomiaru opasania zbiornika za pomocą przymiaru wstęgowego;

- 3) po zakończeniu pomiarów optycznych należy powtórzyć pomiar obwodu odniesienia. Pomiar obwodu odniesienia powinien być wykonany z przedstawioną powyżej tolerancją;
- 4) jeżeli nie uzyska się wymaganej zgodności, należy dalej wykonywać pomiary obwodu odniesienia, aż do momentu, kiedy uzyska się dwa kolejne odczyty zapewniające taką zgodność;
- 5) jako średnią odniesienia należy przyjąć średnią arytmetyczną dwóch pomiarów wykonanych w sposób prawidłowy.

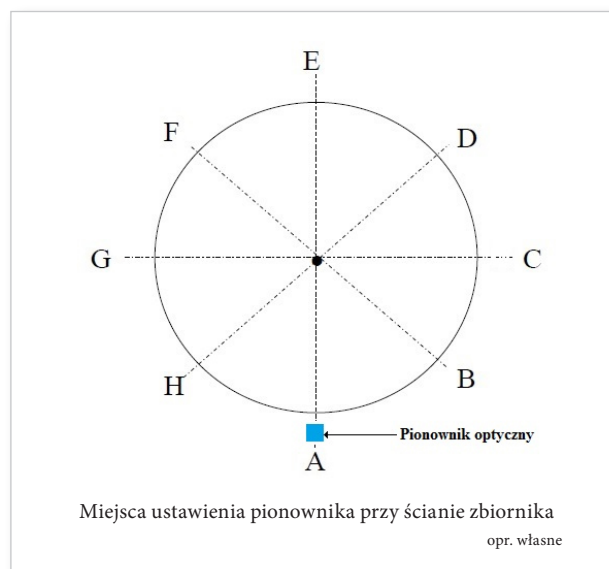
Pomiary offsetu

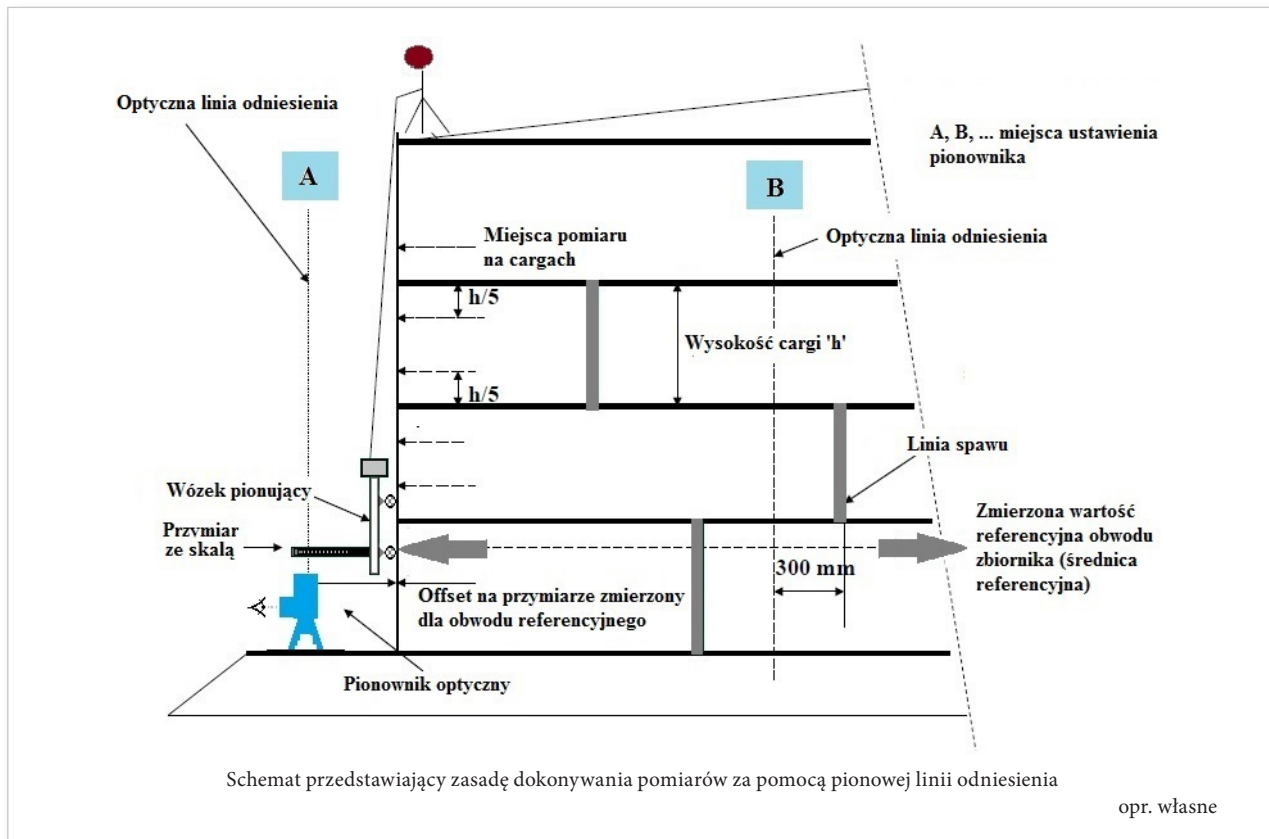
Należy przygotować stanowisko pomiarowe składające się z optycznego przyrządu pomiarowego, wózka magnetycznego z podzielną oraz wyposażenia pomocniczego na stanowiskach pomiarowych równo rozmieszczonych względem zbiornika, możliwie jak najbliżej, ale nie bliżej niż 100 mm od ściany zbiornika. Żadna z linii odniesienia nie może leżeć bliżej niż 300 mm od pionowego łączenia blach zbiornika (spawów pionowych zbiornika). Minimalna liczba stanowisk pomiarowych w zależności od obwodu zbiornika, jest przedstawiona w poniższej tabeli.

| Obwód, w m | Minimalna liczba stanowisk |
|---------------|----------------------------|
| do 50 | 8 |
| od 50 do 100 | 12 |
| od 100 do 150 | 16 |
| od 150 do 200 | 20 |
| od 200 do 250 | 24 |
| od 250 do 300 | 30 |
| powyżej 300 | 36 |

Miejsca ustawienia stanowisk pomiarowych z pionownikiem optycznym przedstawiono na schemacie zamieszczonym poniżej. Na schemacie tym przedstawiono również kolejność dokonywania pomiarów na stanowiskach.

Przed rozpoczęciem pomiaru należy sprawdzić pion optycznej linii odniesienia, obracając przyrząd optyczny na pierwszym stanowisku pomiarowym o kąt wynoszący 180° . Różnica między dwoma po-





miarami dla pozycji przeciwnych nie powinna być większa niż 1 do 20 000. Należy jednocześnie sprawdzać pion optycznej linii odniesienia, poprzez wskazania urządzenia poziomującego. Dla każdego stanowiska pomiarowego należy wykonać co najmniej dwa pomiary offsetu dla każdej z cargi zbiornika – jeden na 1/5 do 1/4 wysokości cargi zbiornika nad dolnym poziomym łączeniem carg zbiornika, drugi na 1/5 do 1/4 wysokości cargi zbiornika pod górnym poziomym łączeniem carg zbiornika. Powyższa zasada dokonania pomiarów jest przedstawiona na powyższym schemacie.

Pomiar z podzielnicy należy odczytywać z dokładnością najbliższą wartości działki podzielnicy wyrażonej w milimetrach. Odczyt z podzielnicy powinien być powtarzalny z dokładnością 1 mm. Dla wszystkich stanowisk pomiarowych należy dokonać pomiarów offsetu, przemieszczając wózek magnetyczny z najniższego punktu pomiarowego do najwyższego. Po wykonaniu najwyższego punktu pomiarowego offsetu należy wózek magnetyczny opuścić do najniższego punktu pomiarowego i powtórzyć procedurę pomiaru. Początkowe i końcowe odczyty offsetu nie mogą się różnić od siebie o więcej niż 1 mm. Jeżeli nie uzyska się takiej różnicy, należy pomiary powtó-

żyć. Jako offset należy przyjąć średnią arytmetyczną tych dwóch pomiarów. Linie odniesienia nie powinny odchyłać się od pionu o więcej niż 1:20 000. Odstęp pomiędzy ścianą zbiornika a odczytem punktu referencyjnego podzielnicy wózka magnetycznego nie powinien być większy niż 1 mm. Należy go kontrolować podczas wzorcowania.

W zależności od konstrukcji zbiornika wynikającej ze sposobu łączenia blach zbiornika, norma przewiduje możliwość dokonywania pomiaru pionowej linii odniesienia na zewnątrz albo wewnątrz zbiornika.

Metoda obliczenia obwodu zbiornika do wyznaczenia tabeli objętości zbiornika

Korzystając z poniższych równań można obliczyć obwód zewnętrzny z odczytów offsetu i pomiaru obwodu odniesienia, korzystając z poniższego równania:

$$R + a = R' + m$$

$$R' = R + (a - m),$$

gdzie:

R – jest promieniem obwodu odniesienia, w metrach,

R' – jest promieniem obwodu zbiornika na danym poziomie pomiarowym, w metrach,
 a – jest offsetem odniesienia mierzonym od obwodu odniesienia do linii odniesienia, w metrach,
 m – jest offsetem mierzonym na tym samym poziomie pomiarowym co R' , w metrach.

Stąd obwód zbiornika C' obliczony na dowolnym poziomie pomiarowym dla pojedynczego stanowiska wynosi:

$$C' = 2\pi R' = 2\pi R + 2\pi(a - m) = C + 2\pi(a - m),$$

gdzie:

C – jest obwodem odniesienia, w metrach.

Obwód odniesienia C'' na dowolnym poziomie pomiarowym dla wszystkich stanowisk pomiarowych – dla pomiarów zewnętrznych oblicza się z wzoru:

$$C'' = C + ((2\pi\Sigma(a - m))/n)$$

– dla pomiarów wewnętrznych oblicza się z wzoru:

$$C'' = C + ((2\pi\Sigma(m - a))/n),$$

gdzie:

n – liczba stanowisk pomiarowych.

Z otrzymanych obwodów odniesienia oblicza się powierzchnie przekroju cąg zbiornika, a z tych powierzchni posiadając odpowiednie wysokości, sporządza się tabelę objętości zbiornika.

Podsumowanie

Administracja miar posiada stanowisko pomiarowe, które jest zaopatrzone w pionownik optyczny wraz z wyposażeniem. Stanowisko to jest na wyposażeniu Obwodowego Urzędu Miar w Warszawie. Wykorzystanie tego stanowiska w prawnej kontroli

metrologicznej zbiorników pomiarowych do cieczy posadowionych na stałe w kształcie cylindra stojącego, powoduje:

- ▶ znaczące skrócenie czasu wykonywania badań,
- ▶ zmniejszenie dodatkowych kosztów obciążających wnioskodawców, w szczególności związanych z koniecznością budowania rusztowań do wykonywania pomiarów zewnętrznych obwodów zbiornika za pomocą przymiaru wstęgowego,
- ▶ brak wpływu czynników powodujących wydłużenie przymiaru przy pomiarze zewnętrznego obwodu zbiornika, w szczególności spowodowanych nierównomiernym ułożeniem przymiaru wstęgowego na pionowej ścianie zbiornika, różnym naciągami przymiaru wstęgowego, zewnętrznymi elementami konstrukcji zbiornika,
- ▶ możliwość wzorcowania metodą geometryczną zbiorników izolowanych termicznie przy zastosowaniu metody pionowej linii odniesienia wewnątrz zbiornika. Dotychczas w większości przypadków zbiorniki izolowane wzorcowane były metodą objętościową. Jedną z wad metody objętościowej była konieczność utylizacji wody do niej wykorzystywanej, ze względu na możliwość jej zanieczyszczenia. Obecnie zbiorniki izolowane, jeśli pozwala na to ich konstrukcja i wyposażenie wewnętrzne, wzorcuje się między innymi metodą opisaną w niniejszym artykule, jak również opisywaną wcześniej metodą EODR (wewnętrznego elektrooptycznego pomiaru odległości).

Jednym z czynników ograniczających stosowanie metody opisaną w niniejszym artykule są warunki atmosferyczne, w szczególności silne porywy wiatru, uniemożliwiające utrzymanie wózka pionującego w stabilnej pozycji podczas dokonywania pomiarów offsetu.