

# Projektowanie konstrukcji systemów ważenia zbiorników

## 1. Wstępne założenia

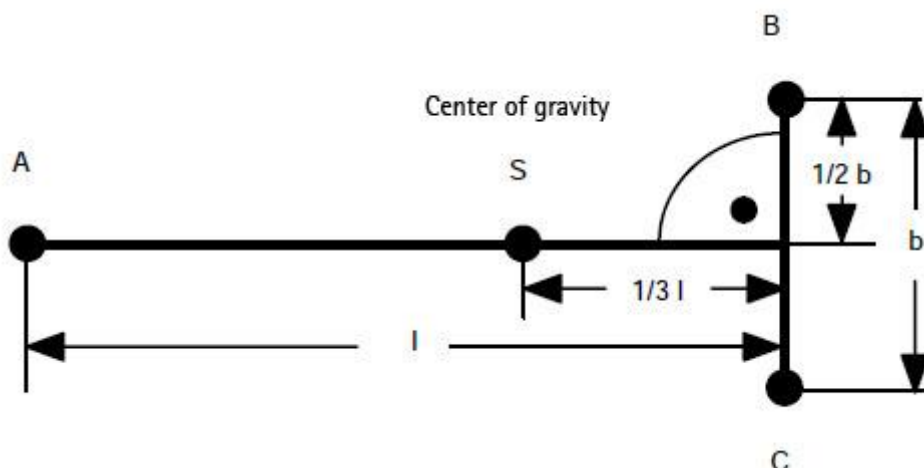
Podczas instalacji przetworników wagi w układach zbiornikowych muszą być przestrzegane pewne podstawowe zasady. Na przykład, zbiorniki są często narażone na działanie warunków atmosferycznych i skutków związanych z procesem produkcji. Kiedy nowe zbiorniki pionowe są ustawiane na zewnątrz (silosy, zbiorniki na węgiel itd.), muszą być przestrzegane w odniesieniu do odpowiednich konstrukcji obowiązujące przepisy budowlane. Należy zauważyć, że nowo zainstalowane urządzenia ważące mogą być uważane za "istotne zmiany" w zakresie przepisów budowlanych. W takich przypadkach zalecana jest porada konstruktora. Przepisy budowlane zazwyczaj cytują słowa "zgodnie ze sztuką" w zakresie zasad bezpieczeństwa. Na przykład, obciążenia wiatrem są objęte normą DIN 1055 część 4, "Założenia obciążeń dla elementów konstrukcyjnych".

Inżynier projektu zajmujący się układami zbiorników również powinien być poinformowany o wszelkich specyficznych zasadach przyjętych przez dane przedsiębiorstwo. Zbiorniki muszą być często zabezpieczone, tak by nie ulegały unoszeniu, nawet w przestrzeniach osłoniętych dachem, jeśli ich zawartość jest niebezpieczna, i gdy wózki widłowe są używane w pobliżu powierzchni magazynujących.

## 2. Rozkład obciążeń

Optymalny układ przetworników wagi określających masę zbiorników jest osiągnięty wtedy, gdy zbiornik jest oparty w trzech punktach, a przetworniki wagi są umieszczone w każdej z podpór. Ten stan jest nazywany jako statycznie określony. Całkowite obciążenie powinno być rozłożone równomiernie, najbardziej jak to tylko możliwe na trzech przetwornikach wagi. W przypadku pionowych lub podwieszonych zbiorników cylindrycznych, najlepszym sposobem jest spełnienie tego wymagania poprzez zastosowanie trzech przetworników wagi umieszczonych w równej odległości od pionowej osi zbiornika i przesuniętych względem siebie o  $120^\circ$  w tej samej płaszczyźnie. Rysunek 1 przedstawia układ punktów podparcia w zbiornikach poziomych.

Jeśli nie wszystkie podpory w systemie są wyposażone w przetworniki wagi, zaleca się nierównomierne rozmieszczenie obciążenia na podporach. Podpory zaopatrzone w przetwornik wagi powinny przenosić większe obciążenia niż podpory bez czujników. Dzięki temu można poprawić całkowitą dokładność urządzenia ważącego. Przy projektowaniu systemu i wybieraniu przetworników wagi, korzystnym w odniesieniu do wszystkich czujników jest to, by podlegały obciążeniom tej samej wielkości.



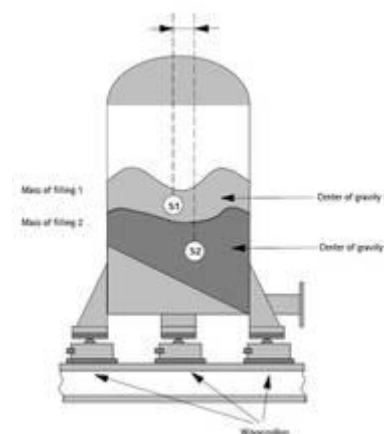
Rysunek 1: Rozmieszczenie punktów podparcia A, B i C w przypadku zbiornika poziomego

Jeśli zbiornik jest wsparty na czterech lub więcej punktach, ułożyskowanie zbiornika stanowi układ statycznie niewyznaczalny. Czujniki muszą być w takich wypadkach instalowane we wszystkich punktach podparcia. Równomierny rozkład obciążenia poszczególnych przetworników można osiągnąć w czasie montażu. W tym celu obciążenie każdego z przetworników wagi musi być mierzone indywidualnie. Następnie, jeśli występują różnice niedopuszczalne, wysokość odpowiednich przetworników musi być zmieniona (za pomocą podkładek kompensacyjnych, itp.). Przetworniki wagi, które są obciążone zbyt mało są na ogół umieszczone po przekątnej względem siebie.

### 3. Środek ciężkości zbiornika

W idealnym przypadku, środek ciężkości napełnionego zbiornika nie powinien znajdować się wyżej niż punkty podparcia zbiornika – ta zasada, jednak nie jest często stosowana.

Ze względu na stabilność korzystne jest, aby środek ciężkości był umieszczony poniżej punktów podparcia. Położenie środka ciężkości, jako funkcji poziomu napełnienia ma znaczący wpływ na liczbę przetworników wagi, które są używane. Jeżeli zawartość zbiornika jest rozmieszczona symetrycznie względem przetworników wagi, możliwe jest wyposażenie układu wagowego w jeden przetwornik wagi, przy założeniu, że położenie środka ciężkości następuje wzdłuż linii pionowej (patrz również 6.3). Jeżeli środek ciężkości przesuwa również na bok wraz ze zmianami położenia masy wypełniającej zbiornik, wszystkie punkty podparcia muszą być wyposażone w przetworniki wagi. Łożysko wahlowe lub stałe punkty podparcia nigdy nie powinny być brane pod uwagę dla aplikacji tego typu!



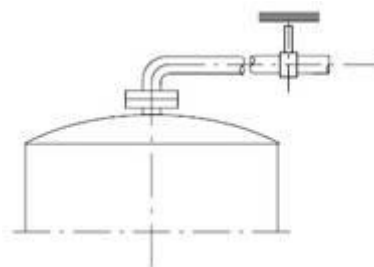
**Rysunek 2:** Rozmieszczenie środka ciężkości zbiornika z nachyloną podstawą rozładowani zależnie od masy wypełnienia

Rysunek 2 ilustruje potrzebę zastosowania przetworników wagi we wszystkich punktach podparcia jeżeli położenie środka ciężkości ulega zmianom nie tylko w kierunku osi pionowej.

### 4. Przyłącza zasilania do zbiorników

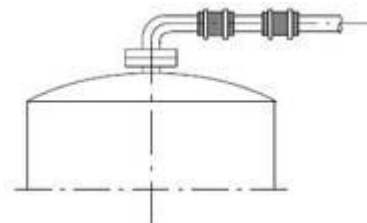
Często wymagane są przyłącza do zbiorników, na przykład w celu doprowadzania i odprowadzania zawartości oraz elektrycznego, hydraulicznego lub pneumatycznego zasilania urządzeń dodatkowych zamontowanych na zbiorniku.

Przyłącza te mogą wiązać się z wystąpieniem sił bocznych, które powodują błędy i mają wpływ na dokładność pomiaru urządzenia ważącego. Przyłącza muszą być elastyczne w kierunku pionowym. Rysunki 3 do 7 pokazują przykłady odpowiednich rozwiązań przyłączy.



**Rysunek 3:** długie poziome przyłącze rurowe

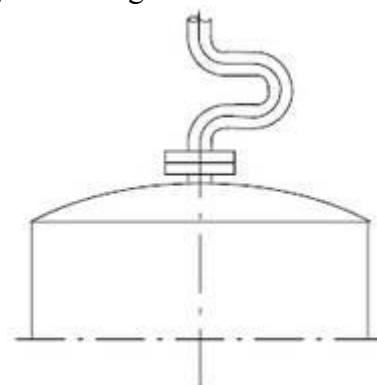
W każdym przypadku, te aspekty powinny być zawsze brane pod uwagę ze względów finansowych w fazie projektowania i planowania. Jeśli stosowane są sztywne rury bez elastycznego połączenia, zbiorniki powinny być połączone z najdłuższym odcinkiem rury poziomej. Odcinek rury powinien również posiadać kompensację wydłużenia w kierunku podłużnym (Rys. 3).



**Rysunek 4:** elastyczne sprzęgło rurowe

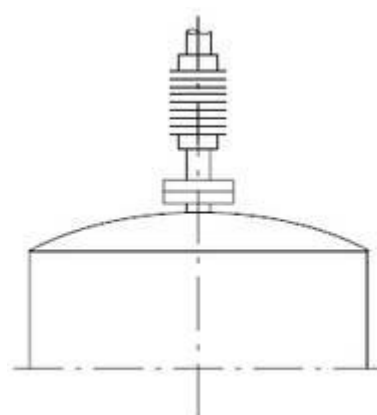
Poziomy odcinek rury ma działanie sprężyny w kierunku pionowym, który bardziej ustępuje wraz ze wzrostem długości. Siła mechaniczna wywierana przez rury w postaci pseudo obciążenia (rozciąganie lub ściskanie) na przetworniki wagi staje się odpowiednio mała i nie ma już istotnego wpływu na dokładność pomiaru.

Kilka giętkich złączy można użyć zamiast układu na jednej długiej rurze (fig. 4). Dobre wyniki w zakresie zapobiegania siłom bocznikowym uzyskuje się poprzez przyłączenie węży wykonanych z elastycznych materiałów łatwo odkształcalnych. W tym przypadku kompatybilność materiałów elastycznych z materiałem wypełniającym zbiornik i/ lub środkami używanymi do jego czyszczenia musi podlegać sprawdzeniu (na przykład w przemyśle spożywczym lub technologii farmaceutycznej). Inna możliwość redukcji niepożądanych sił bocznikowych spowodowanych zastosowaniem rur przyłączeniowych polega na użyciu układu rur zbudowanego z kolanek (rys. 5).



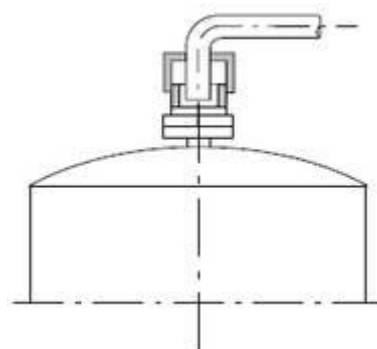
Rysunek 5: ugięcie rury w postaci kompensatora

W przypadkach, w których wymagane są pionowe rury zasilające (tj., w kierunku siły grawitacji, która jest mierzona) lub gdy nie można podłączyć węży, najbardziej efektywne i skuteczne okazały się połączenia rurowe z kompensatorem np. w postaci metalowego mieszka (fig. 6). Ścisłe tolerancje instalacji muszą być przestrzegane podczas montowania tych kompensatorów. Jeśli stosowany jest drugi zestaw z użyciem metalowego mieszka i połączony z pierwszym za pomocą odcinka rury, możliwe jest skompensowanie większych tolerancji. Mieszki metalowe nie są dozwolone w niektórych obszarach przemysłu spożywczego, gdzie ma miejsce intensywne czyszczenie.



Rysunek 6: mechaniczny kompensator

Podłączenie, które przedstawia Rys. 7 stanowi najlepsze rozwiązanie w zakresie redukcji sił bocznikowych. Otwarte połączenie zapobiega kontaktowi pomiędzy rurą i zbiornikiem. Ta forma nie może być stosowana w układach zamkniętych, takich jak np. w zbiornikach ciśnieniowych. Należy zauważyć, że materiał w liniach przyłączeniowych jest zawsze częścią ciężaru. Poziomy napelnienia i przewodów zasilania i spustowych, które są bezpośrednio związane ze zbiornikiem powinny być powtarzalne podczas pomiaru masy. Oznacza to, że linie powinny być zawsze puste lub zawsze pełne, gdy dokonywane są pomiary.



Rysunek 7: króciec otwartego napelniania

## 5. Zbiorniki ciśnieniowe

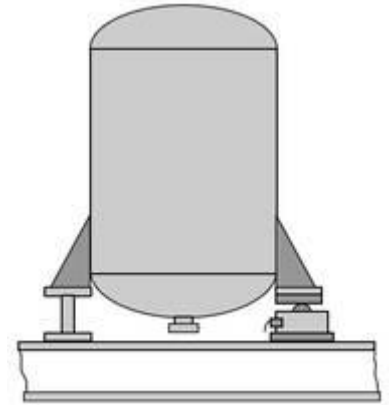
W zamkniętych obiektach, ciśnienie w układzie może mieć wpływ na wyniki ważenia. Szczególnie w przemyśle chemicznym, wysokie ciśnienie jest wymagane dla zachodzenia niektórych procesów. Z drugiej strony, urządzenia do ekstrakcji sproszkowanego materiału generują podciśnienia rzędu 100-300 mbar. Jeżeli przewody rurowe są połączone ze zbiornikiem w pionie, jak pokazano na rys. 5 i 6, wywierana jest siła co ma bezpośredni wpływ na wyniki pomiarów. Efekt jest równy iloczynowi siły pomnożonej przez pole przekroju poprzecznego rury. Jeśli warunki ciśnienia podczas procesu ważenia są stałe, to wynik może być brany pod uwagę (przeliczony) w pomiarze. Poziomy układ rur jest bardziej odpowiedni i korzystniejszy od pionowego połączenia rur w każdym przypadku. W tym przypadku, niepożądane siły, które powstają są absorbowane przez konstrukcje wsporcze.

## 6. Przykłady projektów aranżacji i instalacji przetworników wagi

Typowe rozwiązania układów ważenia zbiorników są przedstawione w odpowiedni sposób za pomocą przykładów. Szczegóły konstrukcyjne i odniesienia do problemów zostały przedstawione bardziej szczegółowo w odpowiednich rozdziałach.

### 6.1 Zbiorniki pionowe

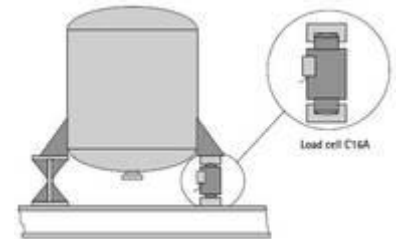
Instalacja z dwoma stałymi podporami i jednym przetwornikiem wagi jest możliwa w przypadku ważenia cieczy i materiałów sypkich w zbiornikach z centralnym wypełnieniem. Aby zapewnić odpowiedni poziom dokładności, zbiornik musi posiadać symetryczną konstrukcję. Ważony produkt musi rozkładać się równomiernie w zbiorniku w celu uzyskania właściwych wyników i utrzymania wymaganej dokładności. We wszystkich innych przypadkach, zwłaszcza jeśli konieczna jest większa dokładność, preferowany jest montaż trzech lub, w niektórych przypadkach, jeśli to konieczne, większej ilości czujników.



**Rysunek 8:** Zbiornik pionowy w sztywnej instalacji z jednym przetwornikiem wagi.

#### 6.1.1 Sztywna instalacja przetwornika wagi

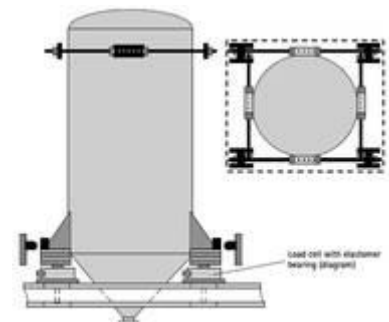
Ta prosta konstrukcja na wsporniku ze sztywno zainstalowanym przetwornikiem wagi nie jest zalecana. Sama konstrukcja powoduje problematyczny wpływ na sam przetwornik. Z uwagi na odkształcenia podczas, zmiany poziomu napełnienia, jak również drgania i zmiany temperatury, z reguły nie można wykluczyć ich działania na przetwornik tensometryczny. Niemniej jednak można znaleźć kilka przypadków takiego rozwiązania.



**Rysunek 9:** Zbiornik pionowy z dwoma łożyskami stałymi i jednym przetwornikiem wagi z kompensacją

#### 6.1.2 Zbiornik pionowy z dwoma łożyskami stałymi i jednym przetwornikiem wagi z kompensacją

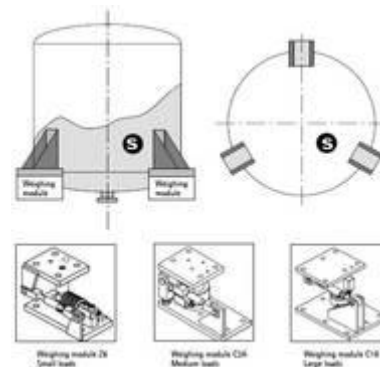
Ten pomiar poziomu napełnienia wykorzystuje przetwornik wagi umieszczony w kołyszce podpartej z jednej strony na dwóch tzw. łożyskach stałych, które służą również do ograniczenia poziomego ruchu zbiornika. Ta opłacalna konstrukcja uwalnia przetwornik wagi od nieakceptowalnych wpływów zewnętrznych.



**Rysunek 10:** Wysoki silos cylindryczny

### 6.1.3 Wysoki silos cylindryczny na trzech lub czterech przetwornikach wagi

Dokładne poziomy zwykle mierzy się na trzech przetwornikach. Również rozwiązania z czterema przetwornikami wagi są stosowane w symetrycznych konstrukcjach prostokątnych. Jednakże układ ten nie jest generalnie preferowany ze względu na statyczną niewyznaczalność i wyższe koszty. Z drugiej strony, są one łatwiejsze do zainstalowania w takich konstrukcjach. Samocentrujące łożyska elastomerowe nie wymagają żadnych odciągów. W zamian, zazwyczaj ich instalacja jest powiązana z montażem stałych odbojów. Dodatkowe odciągi są potrzebne w górnej części zbiorników bardzo wysokich. W przykładzie z rys. 10, są zaprojektowane jako odciągi pozbawione naprężenia wstępnego i wyposażone w zabezpieczenie.

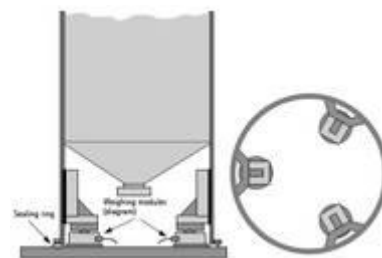


Rysunek 11: Silos cylindryczny na modułach ważących

Stałe ograniczniki mogłyby stale stykać się ze zbiornikiem w tym punkcie, i nieuchronne przemieszczenia zbiornika od idealnej pozycji powodowałyby tarcie kontaktowe, co z kolei prowadziłoby do powstawania sił bocznych. Ograniczniki rolkowe lub odciągi linowe są rzadziej stosowanymi alternatywami.

### 6.1.4 Silos cylindryczny na trzech modułach ważących

Trzy moduły ważące z wbudowanymi odciągami, umiejscowione na obwodzie zbiornika, stycznie do niego sprawiają, że zbiornik jest stabilny w poziomie, bez potrzeby użycia żadnych dodatkowych środków. Urządzenie przeciw unoszeniu się zbiornika, również znajduje się w module ważącym, zapobiega ono przewróceniu się zbiornika. Eliminuje to konieczność wykonania kilku szczegółów w zewnętrznej konstrukcji. Typowe moduły ważące dla niskich, średnich i dużych obciążeń zilustrowano także na zasadzie przykładu.

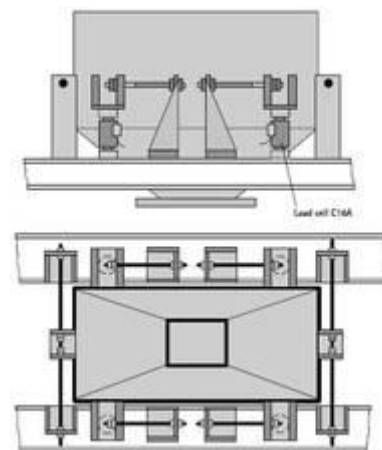


Rysunek 12: Rozmieszczenie modułów ważących w przypadku zbiornika kołnierzowego

Te standardowe elementy upraszczają konstrukcję i pozwalają znacznie zmniejszyć koszty budowy. Z drugiej strony, konstrukcja wymaga znacznej uwagi, aby zapewnić równoległość powierzchni, wyrównanie wysokości itp.

### 6.1.5 Zbiorniki kołnierzowe posadowione na modułach ważących

Zbiorniki kołnierzowe, które są dość często używane w praktyce, mają zewnętrzną obudowę, która rozciąga się do podstawy i służy zapewnieniu ogólnej stabilności układu. Montaż na przetwornikach wagi nie jest sprawą prostą. Rysunek 12 przedstawia wariant konstrukcyjny ważenia takich zbiorników przy użyciu przetworników wagi. To rozwiązanie jest również stosunkowo łatwe do wykonania w istniejących systemach. Klamry są zamontowane lub przyspawane do wewnętrznej ściany zbiornika. Obciążenie jest przyłożone sztywno do przetworników wagi. W tym przypadku preferowane jest użycie modułów ważących ponieważ wyposażone są również w urządzenie przeciwnoszeniowe itp. (nie pokazano na Rys.12 w celu zwiększenia



Rysunek 13: Prostokątny lej oparty na czterech przetwornikach wagi

przejrzystości schematu). Nawet nieznaczne unoszenie struktury wystarcza do kierowania całej siły obciążenia na przetworniki wagi. System musi być często uszczelniany. Osiąga się to przez zastosowanie okrągłego pierścienia uszczelniającego, który nie powoduje wystąpienia żadnych sił bocznych ze względu na swoją elastyczność.

### 6.1.6 Prostokątny zbiornik na stacji napełniania wsparty na czterech przetwornikach wagi

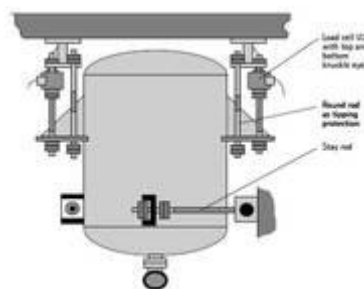
Trudne warunki lub nietypowe mechaniczne efekty mogą mieć wpływ na jakość pomiarów. Na przykład, silne wibracje występujące wskutek pracy urządzeń wytrząsarki lub mieszadła, wpływ dodawania do zbiornika produktów wielkogabarytowych i ciężkich, lub zrzut zawartości w kontrolowanych ilościach. Ponadto, temperatura może spowodować rozszerzanie i kurczenie się struktury zbiornika podobnie jak przy zmianie temperatury w czasie procesu produkcyjnego. Wszystkie z tych rzeczywistych czynników mechanicznych będą skrecać i odkształcać przetwornik tensometryczny w różnych kierunkach, co powoduje, że pomiary stają się niewiarygodne lub niedokładne. W takich sytuacjach zaleca się wyznaczenie dodatkowych punktów podparcia i modyfikacji przetworników wagi, które zapewnią spójność pomiarową i zwiększą stabilność całej konstrukcji. To w dłuższej perspektywie będzie skutkowało wiarygodnymi i dokładnymi pomiarami w produkcie końcowym, co spełni oczekiwania i przyniesie zadowolenie Twojego klienta.

Często zaleca się umieszczenie odciągu wmontowanego na stałe lub jako dodatkowy punkt podparcia przymocowany do konstrukcji.

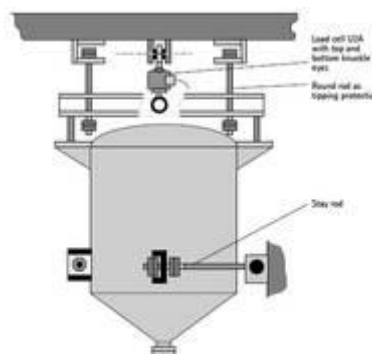
Przetworniki wagi z łożyskami elastomerowymi lub instalowane w pozycji pionowej, jak te w przykładzie o przetwornikach samocentrujących (patrz punkt 6.3), mogą również korzystać z tych urządzeń wsporczych. Inżynier projektu może zaoferować pomoc i sugestie dotyczące strategii umieszczenia punktów podparcia.

## 6.2 Zbiorniki podwieszane

Problemy z centrowaniem zbiorników podwieszanych mogą być wyeliminowane lub uproszczone za pomocą giętkich, prostych, okrągłych odciągów. Ponadto, aby zapewnić ochronę przed upadkiem, która zawsze jest konieczna, odciągi muszą zapobiegać i prowadzić do uniknięcia oscylacji i obracania.



Rysunek 14: Podwieszony zbiornik na trzech przetwornikach wagi



Rysunek 15: Podwieszony zbiornik na jednym przetworniku wagi

### 6.2.1 Zawieszenie na dwóch lub trzech przetwornikach

Ogólnie prosta konstrukcja wymaga kilku stycznie rozmieszczonych odciągów. W przypadkach ograniczonego naprężenia, ich funkcje mogą być przejęte przez dolną rurę wylotową.

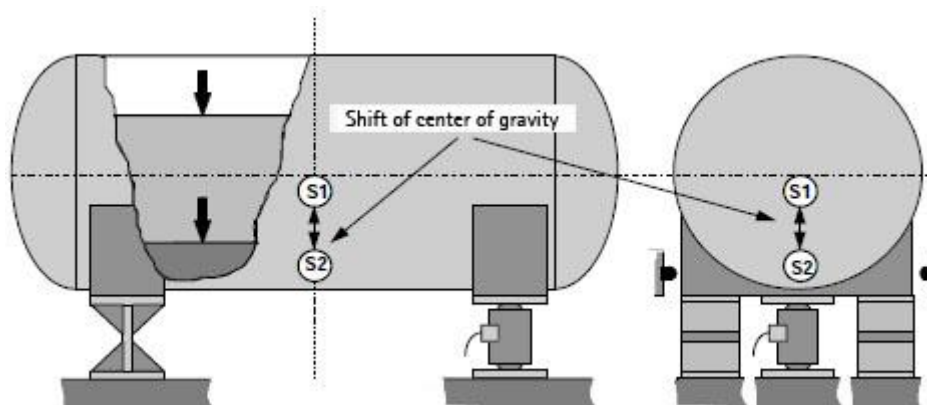
### 6.2.2 Centryczne zawieszenie na jednym przetworniku

Niezbędny w takim układzie jest specjalny odciąg, aby zapobiec oscylacjom i obracaniu zbiornika.

## 6.3 Poziome zbiorniki na ciecze

Poziome zbiorniki na ciecze zazwyczaj spełniają warunek, że środek ciężkości ich zawartości musi przesuwać się wzdłuż linii pionowej wraz ze zmianą masy jego wypełniania. Układ z jednym przetwornikiem wagi, pod jednym wspornikiem zbiornika i dwoma stałymi łożyskami pod pozostałymi wspornikami jest zatem wystarczający do stosunkowo prostych pomiarów poziomu. Wyidealizowany zbiornik spoczywa połową swojego ciężaru na jednym samocentrującym przetworniku wagi i na dwóch łożyskach stałych. W normalnych warunkach nie jest wymagane dodatkowe mocowanie. W przypadku zbiorników bardzo długich, dla dodatkowego zabezpieczenia przed przewróceniem podczas bocznych uderzeń, można zamontować na stałe zderzaki, - pomaga to ograniczyć ruchy boczne po obu stronach stopy zbiornika, która spoczywa na przetworniku wagi.

W zastosowaniach praktycznych, symetria rozkładu ciężaru często jest zakłócona przez niewielkie nachylenie linii bazowej ku jednej stronie i wylotowi, który się tam znajduje. Samocentrujący układ trzech przetworników jest optymalnym rozwiązaniem dla bardziej dokładnego ważenia, zderzaki natomiast jako najlepszy sposób realizacji ograniczeń w poziomie.



**Rysunek 16:** Poziomy zbiornik na ciecze z przetwornikiem wagi C16 (wykres)