

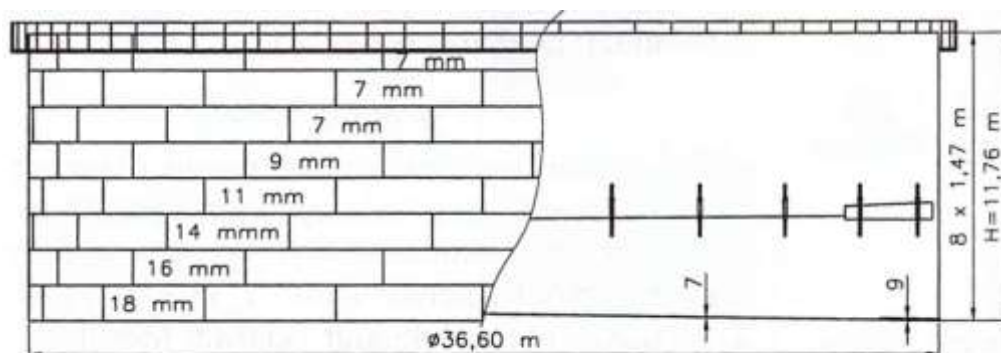
Naprężenia w płaszczu zbiornika stalowego z lokalnymi deformacjami

Kowalski Dariusz

Politechnika Gdańska, Gdańsk, Polska

Inżynieria i Budownictwo, vol. 57, nr 6, 2001, pp. 351-353

Badano stalowy zbiornik naziemny walcowy o pojemności 12000 m³, z dachem pływającym typu pontonowo-membranowego. Zasadnicze wymiary tego zbiornika podano na rys. 1, a widok zbiornika - na rys. 2. Styki blach w płaszczu, zarówno pionowe, jak i poziome, były wykonane jako doczołowe. Na ostatnim pierścieniu płaszczu zbiornika znajduje się usztywniający, poziomy pierścień wiatrowy szerokości 850 mm, wykonany z blachy stalowej grubości 6 mm i zakończony po stronie wewnętrznej ceownikiem 80. Zbiornik był posadowiony w całości na fundamencie piaskowym, otoczonym żelbetowym pierścieniem fundamentowym. Badany zbiornik został wybudowany w latach 1961-1963 i do 1999 roku był nieprzerwanie eksploatowany. Powstałe w tym czasie ubytki korozyjne zestawiono w tablicy.



Rys. 1. Przekrój pionowy badanego zbiornika



Rys. 2. Widok ogólny zbiornika

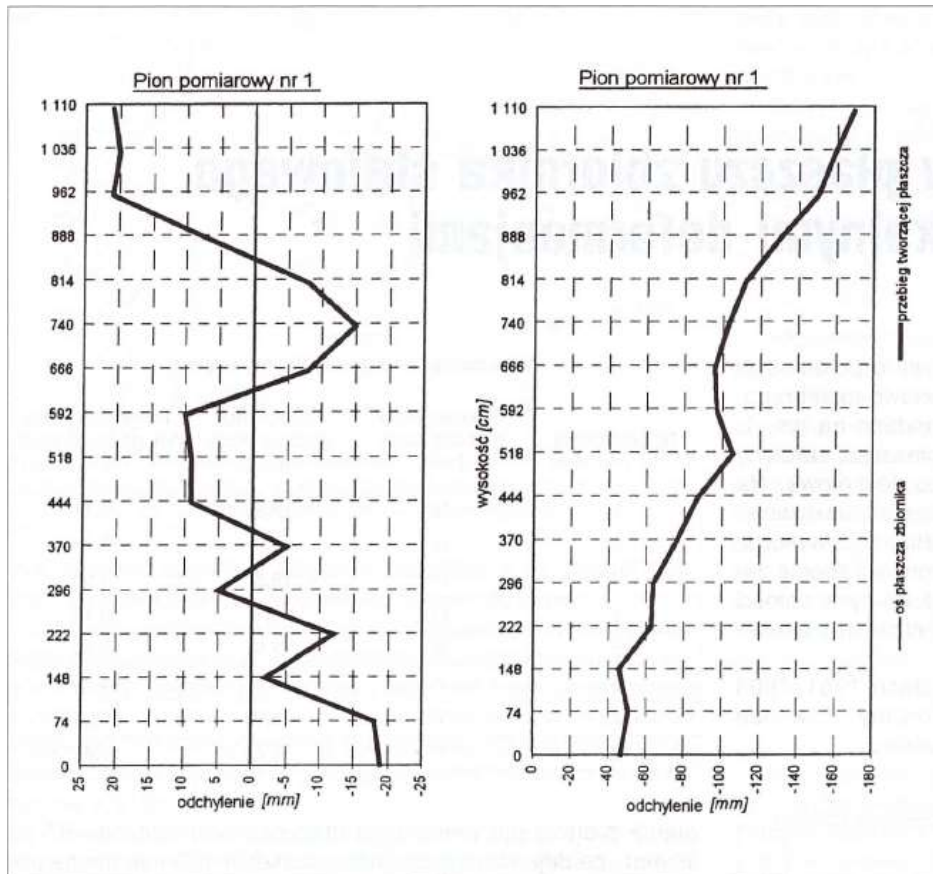
Płaszcz zbiornika – ubytki korozyjne

Nr pierścienia	Projektowana grubość blach [mm]	Pomierzona grubość blach [mm]	Procentowy ubytek grubości blach [%]
1	18	16,9	6,11
2	16	15,0	6,25
3	14	13,3	5,00
4	11	10,1	8,18
5	9	7,9	12,22
6	7	6,0	14,29
7	7	6,0	14,29
8	7	6,2	11,43

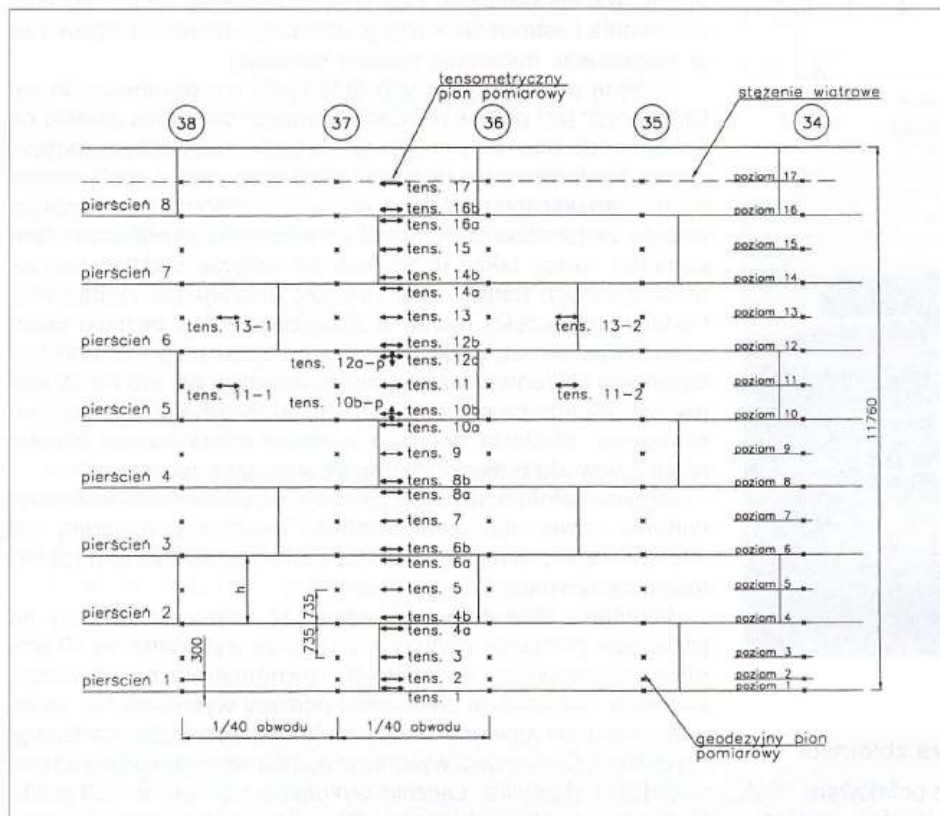
Ocena deformacji powierzchni płaszcza zbiornika

Powierzchnia płaszcza zbiornika była silnie pofalowana. Deformacje kształtu pochodzą zarówno z okresu budowy obiektu, jak i późniejszej prawie czterdziestoletniej eksploatacji. Deformacje z okresu budowy to przede wszystkim załamania kątowe na spawanych stykach pionowych, jak i poziomych. Kolejnym powodem powstawania deformacji w czasie wykonania jest niedokładność wytyczenia obwodu pierwszego pierścienia płaszcza na obrzeżu dna zbiornika. Odchyłki od centrycznego ustawienia pierwszego pierścienia płaszcza wynoszą od -57 do 56 mm, co daje różnicę długości promienia 113 mm już na poziomie dna zbiornika. Konsekwencją niecyldryczności pierwszego pierścienia płaszcza jest ustawianie jego kolejnych pierścieni na nieprawidłowej bazie. Sumowanie się niedokładności trasowania i ustawienia każdego kolejnego pierścienia powoduje zwiększenie deformacji powłoki walcowej. Kolejną przyczyną nowych deformacji lub powiększenia się istniejących jest proces nierównomiernego osiadania obiektu na fundamencie piaskowym. Jest to związane ze stopniem zagęszczenia fundamentowej poduszki piaskowej oraz z obciążeniem skupionym od ciężaru własnego płaszcza zbiornika. Zmiennego stopnia zagęszczenia poduszki piaskowej na powierzchni fundamentu należy także upatrywać we wpływie oddziaływań atmosferycznych (zmian temperatury), szczególnie zamarzania i odmarzania części gruntu znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie żelbetowego pierścienia otaczającego fundament. Osiadanie obwodu płaszcza zbiornika wynosi od -18 do 31 mm (różnica 49 mm na obwodzie zbiornika). Nieznana jest całkowita wartość osiadania zbiornika w trakcie całego okresu eksploatacji z powodu braku pomiarów powykonawczych. Łączne deformacje płaszcza zbiornika od niedokładności wykonania oraz nierównomierności osiadania osiągają od -169 mm (deformacja do wnętrza zbiornika) do 149 mm (deformacja na zewnątrz).

Istniejący stan deformacji płaszcza został odtworzony na podstawie pomiarów geodezyjnych, które wykonano na 40 pionach pomiarowych rozłożonych równomiernie na obwodzie zbiornika. Na każdym pierścieniu pomiary wykonano na trzech poziomach (na krawędzi dolnej, w środku wysokości, na krawędzi górnej). Dodatkowo wykonano pomiar na wysokości 300 mm nad dnem zbiornika. Łącznie wykonano pomiary w 680 punktach, przy pustym zbiorniku. Charakter deformacji płaszcza zbiornika przedstawiono na przykładowych przekrojach pionowych (rys. 3).



Rys. 3. Pomierzone deformacje na wybranych przekrojach pionowych płaszczu zbiornika



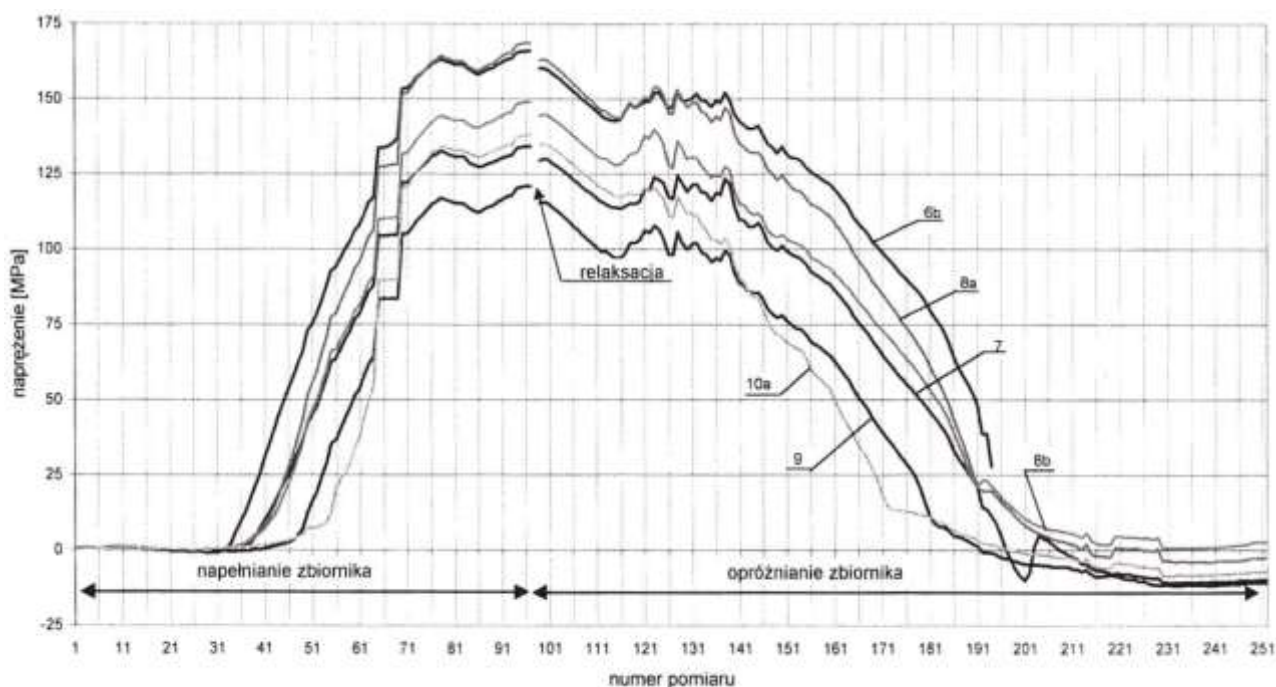
Rys. 4. Rozmieszczenie tensometrów i punktów pomiarowych na płaszczu zbiornika

Przygotowanie badań

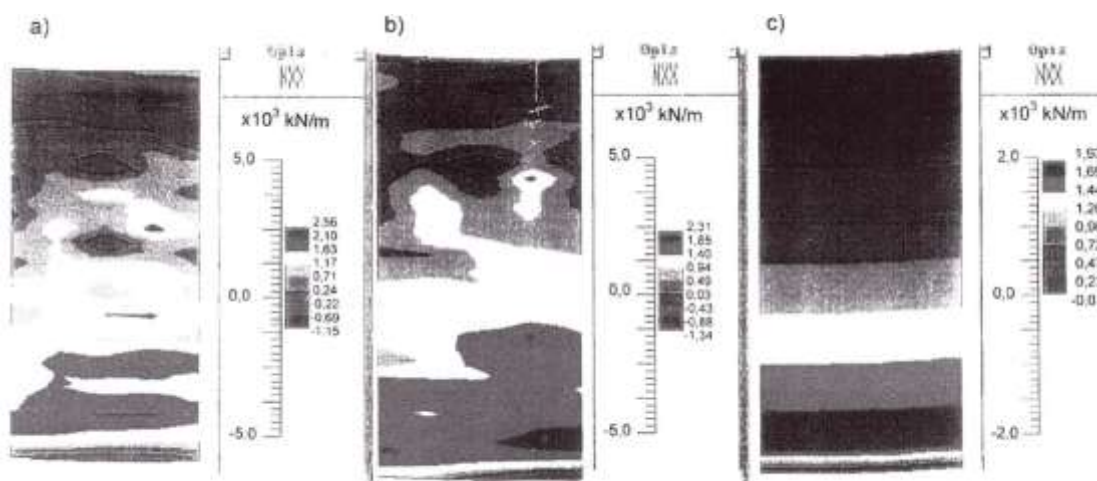
Na podstawie informacji o charakterze deformacji powłoki walcowej przystąpiono do analizy deformacji płaszcza zbiornika. Dane z pomiarów geodezyjnych posłużyły do opracowania komputerowego modelu zbiornika. Do tego celu wykorzystano program Robot V6 oraz własne programy do opracowań statystycznych. Analiza modelu zbiornika z zastosowaniem powłokowych elementów skończonych umożliwiła oszacowanie rozkładu sił wewnętrznych oraz naprężeń w zdeformowanej powłoce. Na podstawie otrzymanych rozkładów zaplanowano wykonanie trzech tensometrycznych pionów pomiarowych i określono wstępnie ich usytuowanie, a także określono warunki wykonania przyszłych prac pomiarowych. Przewidziano do zainstalowania po trzy tensometry liniowe na każdym pierścieniu płaszcza zbiornika. Umieszczono je na krawędzi górnej i dolnej każdego pierścienia, w odległości około 20 mm od spoin poziomych i co najmniej 150 mm od spoin pionowych, a także w połowie wysokości każdego pierścienia płaszcza. W trakcie montażu tensometrów zdecydowano o zwiększeniu liczby punktów pomiarowych. Dodatkowe tensometry poziome umieszczono na pierścieniu 5 i 6 w obrębie pionu pomiarowego nr 1; usytuowano je po obu stronach pionu pomiarowego, w odległości 3 m. Dodatkowo zainstalowano pojedyncze tensometry pionowe na każdym z pionów pomiarowych, w miejscach największych załamań kątowych pomiędzy blachami przy spoinach poziomych (rys. 4).

Przebieg badań

Pomiary zmian odkształceń płaszcza stalowego zbiornika wykonano z zastosowaniem elektrooporowych przetworników tensometrycznych typu LY 11 6/120 produkcji firmy Hottinger Baldwin Messtechnik, które klejono do konstrukcji klejami firmy Measurements Group. Przebieg badań rejestrowano przy użyciu komputerów PC współpracujących z wielopunktowymi systemami pomiarowymi typu UPM 60 i ONIX 64. Badania wykonano aparaturą Katedry Mostów Politechniki Gdańskiej, przy udziale pracowników tej Katedry. Przewidziano wykonanie dwóch pełnych cykli pomiarowych (tj. dwóch cykli napełnienia i opróżnienia zbiornika), jednak zaistniałe warunki pogodowe (spadek temperatury o około 20°C), jak i przyczyny techniczne ograniczyły prace do jednego pełnego cyklu i początku napełnienia w cyklu drugim. Rejestrację naprężeń w płaszczu zbiornika prowadzono automatycznie co 15 min (rys. 5).



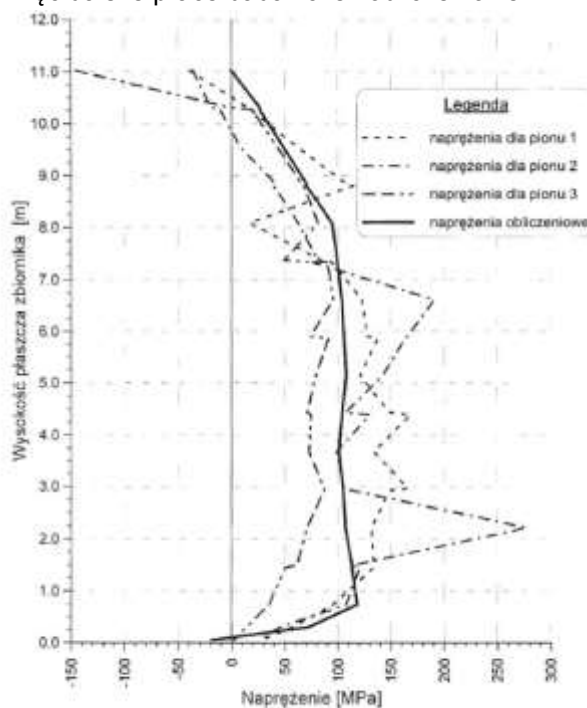
Rys. 5. Zarejestrowany przebieg zmienności naprężeń (poziomy pomiarowe wg rys. 4)



Rys. 6. Zestawienie porównawcze sił obwodowego rozciągania powłoki: a), b) z imperfekcjami, c) idealnej

Badania terenowe a wyniki obliczeń

Badany zbiornik należy do silnie zdeformowanych obiektów z tej grupy konstrukcji stalowych. Przy zastosowaniu standaryzowania wartości deformacji f_i rzeczywistą grubością blach płaszczu zbiornika f_i na danym poziomie uzyskujemy zmienność w zakresie $Mf_i = 3,3; -28,3$. Takie imperfekcje powodują występowanie znacznych mimośrodków pomiędzy poszczególnymi fragmentami pierścieni płaszczu zbiornika, co prowadzi do generowania w powłoce walcowej płaszczu zbiornika nie tylko sił obwodowego rozciągania, ale także znacznych sił pionowych oraz momentów zginających (rys. 6). Uzyskane w trakcie badań wartości naprężeń porównano (rys. 7) z obliczonymi w wypadku zbiornika wzorcowego (o idealnym kształcie). Na podstawie porównania pomierzonych i obliczonych naprężeń stwierdzono, że deformacje kształtu płaszczu bardzo istotnie zmieniają lokalnie wartości naprężeń w stosunku do stanu idealnego. Przykładem może być pomiar wykonany w pionie drugim, na poziomie piątym, gdzie stwierdzono nawet ponad dwukrotne przekroczenie spodziewanych naprężeń (258%). Wartości, jakie uzyskano z obliczeń komputerowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych w przypadku powłok zdeformowanych nie są zadowalające. Przyczyną tego może być słaba zbieżność procesu obliczeniowego lub słabe dopasowanie charakterystyki elementów zastosowanych do modelowania powłoki. Podjęto więc dalsze prace badawcze i obliczeniowe.



Rys. 7. Porównanie naprężeń pomierzonych z obliczonymi

Uwagi końcowe

Znaczne imperfekcje powłok walcowych mogą powodować istotną zmianę lokalnego stanu naprężenia w płaszczu zbiornika. Zsumowanie się naprężeń związanych z imperfekcjami i naprężeń spawalniczych, a także wady spawalnicze mogą być przyczyną doprowadzenia konstrukcji do stanu awaryjnego, czego przykładem są często spotykane w obiektach zbiornikowych pękające styki spawane płaszczy [1, 2, 3]. Należy więc dążyć do ograniczania imperfekcji powłok przez zaostrzenie nadzoru w okresie budowy oraz zmniejszenie wartości dopuszczalnych odchyłek podawanych w odpowiednich normach, np. w PN-B-3210:1997 Konstrukcje stalowe - Zbiorniki walcowe pionowe na ciecze - Projektowanie i wykonanie.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Ziółko J.: Imperfekcje stalowych zbiorników walcowych - przyczyny ich powstawania, sposoby ograniczania. "Inżynieria i Budownictwo", nr 11/1999.
- [2] Ziółko J., Kowalski D.: „Remont zbiornika stalowego w trudnych warunkach lokalnych”, Inżynieria i Budownictwo, nr 6, 1998, pp. 308-311.
- [3] Kowalski D.: „Jakościowa i ilościowa ocena odchyłek wykonania płaszczy zbiorników stalowych”, Problemy eksploatacyjne baz magazynowych produktów naftowych, Poznań, 11-12 maja 1999, pp. 1–10.