

Przyczyny powstawania nieszczelności w zbiornikach prostokątnych

Dr inż. Marta Lutomirska, Politechnika Warszawska, dr inż. Tomasz Lutomirski, ZBM-IZ

1. Wprowadzenie

W zbiornikach prostokątnych nie jest praktykowane sprężanie, tak jak ma to miejsce w przypadku zbiorników cylindrycznych. Zatem w ścianach tych zbiorników, oprócz sił rozciągających, powstają także znaczne momenty zginające i skręcające. Wpływają one w sposób istotny na szczelność zbiorników. Pomimo tej wady, zbiorniki prostokątne są często stosowane ze względu na łatwiejsze ich wykonanie oraz prostsze zlokalizowanie ich obok siebie.

W niniejszym referacie przedstawiono analizę przyczyn powstania nieszczelności w zbiornikach prostokątnych na przykładzie jednej z oczyszczalni ścieków. Obiektem, w którym w zaobserwowano nieszczelności w trakcie próbnego rozruchu, są osadniki wstępne. Zwykle przyczyną powstania rys jest suma różnych błędów, które mogą występować w projekcie, materiale, procesie technologicznym, sposobie eksploatacji itp. Zatem, w celu ustalenia przyczyn powstania rys jakie miały miejsce w tym przypadku, oszacowano wytrzymałość betonu, zmierzono rozstaw zbrojenia, wykonano kontrolne obliczenia statyczne oraz przeprowadzono analizę skurczu betonu.

2. Charakterystyka obiektu

W osadnikach wstępnych realizowane jest oczyszczanie mechaniczne i chemiczne ścieków komunalnych przed ich oczyszczaniem biologicznym. Przy bardzo powolnym przepływie ścieków, następuje sedimentacja drobnych i stosunkowo lżejszych frakcji niż w piaskowniku. Omawiany obiekt osadników wstępnych (fot. 1) składa się z dwóch oddzielonych od siebie dylatacją części. Jedną z nich jest budynek przeznaczony na stację transformatorową i część socjalną. Drugą częścią jest zbiornik wielokomorowy o konstrukcji żelbetowej monolitycznej. W budynku znajdują się trzy osadniki wstępne („A”, „B” i „C”), komory rozdziału ścieków, komory by-pasów, komory pośrednie przepompowni ścieków, korytarze obsługowe i system koryt rozprowadzających ścieki w obiekcie. W rzucie poziomym budynek osadników wstępnych ma wymiary zewnętrzne: szerokość 49,57 m, długość 57,07 m i całkowitą wysokość 8,13÷11,9 m. Jest on wyniesiony ponad teren 6,44

i 7,66 m. W rzucie poziomym wszystkie trzy osadniki są identycznymi kwadratami o boku 15 m w świetle ziorników. Na koronie zbiorników wykonano pomosty obsługowe w postaci płyt opartych na ścianach. Nad zbiornikiem zastosowano lekkie przekrycia z kompozytów na bazie żywic. Dno zbiornika zaprojektowano w postaci monolitycznej płyty żelbetowej (bez dylatacji) o grubości 60 cm, wykonanej na izolacji z Bitizolu R+2PG i 10 cm warstwie betonu klasy B7,5. Przerwy robocze w płycie zabezpieczono taśmami dylatacyjnymi z PCW typ 4. Taśmy te zastosowano również w połączeniu płyty dennej ze ścianami zbiornika. Ściany wewnętrzne zbiornika mają grubość 40 i 60 cm. Ściany zewnętrzne mają grubość 60 cm i ocieplone są metodą lekką moką styropianem samogasnącym M20 o grubości 3 cm. W projekcie w ścianach zbiornika wielokomorowego nie przewidziano żadnej przerwy roboczej. Do wykonania dna i ścian osadników użyto wodoszczelnego i mrozoodpornego betonu klasy B35, o stopniu wodoszczelności W8 i stopniu mrozoodporności F150. W ścianach i w dnie osadników przyjęto stal zbrojeniową gatunku 18G2 klasy A-II o maksymalnej średnicy zbrojenia 25 mm. Zbrojenie poziome od wewnętrznej, jak i zewnętrznej strony zbiornika na całej wysokości ściany to $\phi 12$ co 20cm. Natomiast zbrojenie pionowe jest zmienne na wysokości: na dole ściany od strony wewnętrznej zbiornika $\phi 12$ co 20 cm od strony zewnętrznej $\phi 25$ co 10cm, w pozostałych lokalizacjach (w środku wysokości oraz na górnej części ściany) zbrojenie to wynosi $\phi 12$ co 20cm. Otulenie zbrojenia w płycie dennej wynosi 5 cm, a w ścianach zbiornika 4 cm. Zabezpieczenie wewnętrznej powierzchni zbiornika zaprojektowano w postaci powłoki wykonanej na bazie żywic epoksydowych.



Fot. 1. Elewacja wschodnia

Fot. 2.
Wykonana iniekcja
rys pionowych



Fot. 3. Naprawy
przecieków
w pobliżu spustu
z osadnika „A”



3. Opis zaistniałych nieszczelności

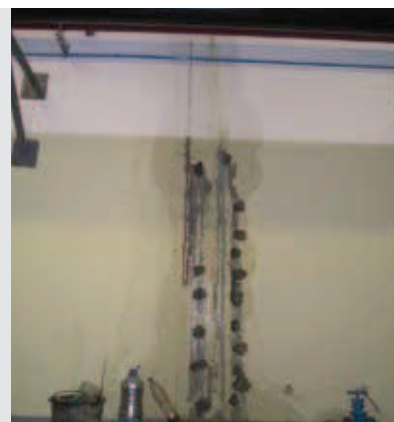
W trakcie próbnego rozruchu na ścianach zbiornika w wielu miejscach pojawiły się wilgotne plamy, plamy z pojedynczymi kroplami wody lub plamy z licznymi spływającymi po powierzchni kroplami. Sączenie wody zaobserwowano w dwóch miejscach, gdzie po odstąpieniu warstwy tynku stwierdzono występowanie rys niewielkiej rozwartości (do około 0,1 mm). Układ nieszczelności świadczy o zróżnicowanym ich pochodzeniu. Zdecydowana większość nieszczelności zbiornika wykazuje przebieg pionowy. Na fotografii 2 przedstawiono wykonanie naprawy iniekccyjnej typowej nieszczelności zbiornika. Rozstaw tego typu nieszczelności wynosi około 5 m. Sporadycznie występują nieszczelności bliźniacze, dla których rozstaw wynosi około 1 m.

W ścianach zbiornika wystąpiły nieliczne rysy ukośne. Przykładową uszczelnianą rysę ukośną przedstawiono na fotografii 3. Maksymalna rozwartość tej rysy wynosi około 0,1 mm. Do uszczelnienia rysy zastosowano pakery iniekcyjne o średnicy 14 mm, umieszczone na przemian po obu stronach rysy pod kątem 45° do powierzchni prostopadłej do ściany i przechodzącej przez rysę. Zastosowano zmienny rozstaw pakerów. Maksymalne odległości pomiędzy pakerami wynosiły około 25 cm, minimalne zaś były mniejsze niż 10 cm.

Na fotografii 4 przedstawiono naprawioną rysę pionową biegnącą w przybliżeniu od dna zbiornika do $\frac{3}{4}$ wysokości ściany. Rysa ta powstała w miejscu o najmniejszej sztywności konstrukcji zbiornika, gdzie występuje mała liczba ścian pionowych zbiornika. W miejscu tym występuje również zmiana szerokości płyty fundamentowej. Zatem można stwierdzić, że ta rysa w ścianie powstała jako samoistna dylatacja [6].

W projekcie technicznym nie przewidziano żadnych przerw roboczych w betonowaniu ścian zbiornika. Na fotografii 5 przedstawiono prawdopodobnie nieplanowaną przerwę roboczą w betonowaniu. W miejscu jej występowania, na wysokości około 2–3 m poniżej maksymalnego poziomu ścieków, pojawiły się wilgotne plamy.

Fot. 4. Iniekcja
rysy pionowej



Fot. 5. Naprawy przecieków znajdujących się w poziomym szwie roboczym



Fot. 6. Przecieki przy ramie stalowej, w której znajduje się demontowany element żelbetowy

Niewielkie sączenia wody występują również we fragmentach ścian zewnętrznych zbiornika. Zostały one zauważone przy odsłoniętych częściach ścian poniżej poziomu terenu, głównie przy zabetonowanej ramie stalowej (fot. 6). Przecieki występują w fragmencie ściany przewidzianej do demontażu przy dalszej rozbudowie obiektu.

4. Badanie przyczyn powstałych nieszczelności

4.1. Badania wytrzymałości betonu

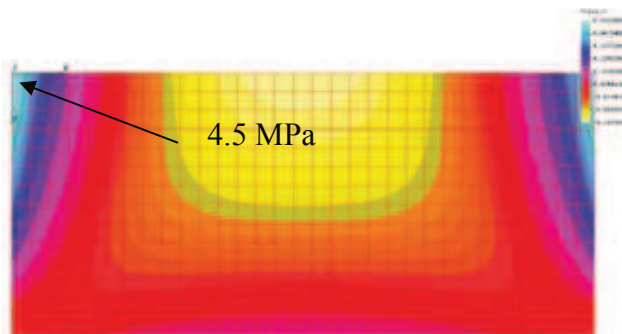
Ocenę wytrzymałości betonu w ścianach osadników dokonano na podstawie nieniszczących sklerometrycznych pomiarów twardości warstwy powierzchniowej. Pomiary wykonano za pomocą młotka Schmidta typu N. Z badań, iż klasa zastosowanego betonu zawarta jest w przedziale C35/45÷C40/50 (B45÷B50) i spełnia wymagania projektowanej klasy B35. Zatem w tym przypadku należy wykluczyć wpływ klasy betonu na powstałe nieszczelności.

4.2. Ocena położenia zbrojenia w ścianach osadników

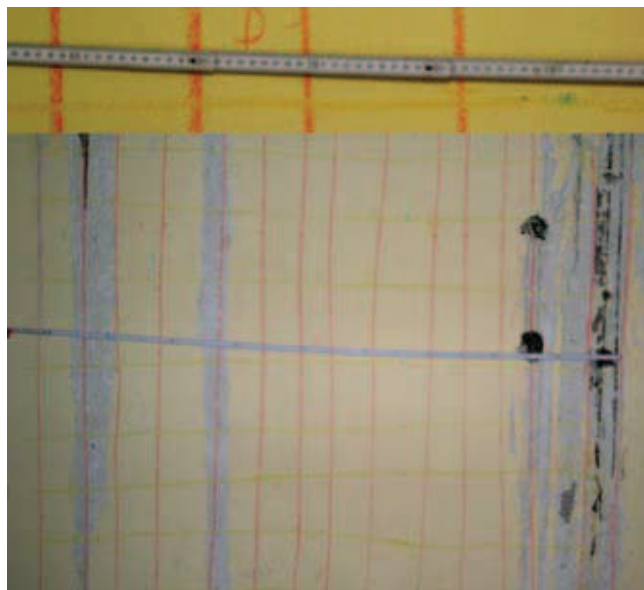
W wybranych losowo miejscach każdego z osadników wstępnych wykonano pomiary ferromagnetyczne usytuowania zbrojenia. Zastosowano Profometer 3 (Femetr) produkcji szwajcarskiej. Przy znanej średnicy prętów zbrojeniowych pomiar grubości otuliny obarczony jest bardzo małym błędem. Stwierdzono, że rozstawy zbrojenia zarówno poziomego, jaki pionowego (fot. 7) są zgodne z projektem.

4.3. Obliczenia sprawdzające

Dla ścian osadnika wykonano kontrolne obliczenia statyczne programem komputerowym COSMOS/M v 2.0. Przyjęto dwa schematy statyczne: płyta swobodna na górnej krawędzi i utwierdzona na pozostałych krawędziach oraz płyta swobodnie podparta na górnej krawędzi i utwierdzona na pozostałych krawędziach. Obciążenie płyt stanowi parcie ścieków o maksymalnej wartości charakterystycznej $q_k = 77,80$ kN/m. Dla płyty swobodnej na górnej krawędzi i utwierdzonej na pozostałych krawędziach, największe naprężenia σ_x



Rys. 1. Naprężenia σ_x dla płyty swobodnej na górnej krawędzi i utwierdzonej na pozostałych krawędziach



Fot. 7. Rozmieszczenie prętów zbrojenia w ścianie osadnika

występują w górnym narożniku i wynoszą ok. 4,5 MPa (rys. 1). Natomiast dla tej płyty największe naprężenia σ_y występują w dolnym utwierdzeniu i wynoszą około 6,0 MPa (rys. 2). Naprężenia powyższe powstają od następującej wielkości momentów:

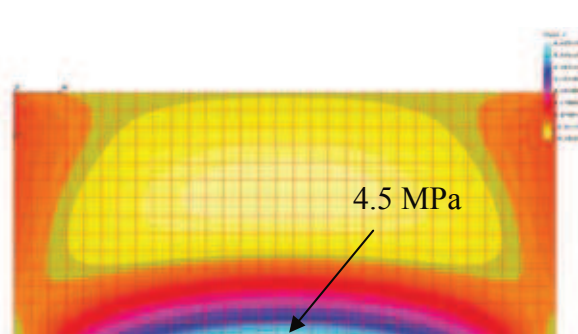
$$M_{d,y} = 0,45 \cdot 60000 = 27000 \text{ kNcm} = 270,00 \text{ kNm}$$

$$M_{d,x} = 0,60 \cdot 60000 = 36000 \text{ kNcm} = 360,00 \text{ kNm}$$

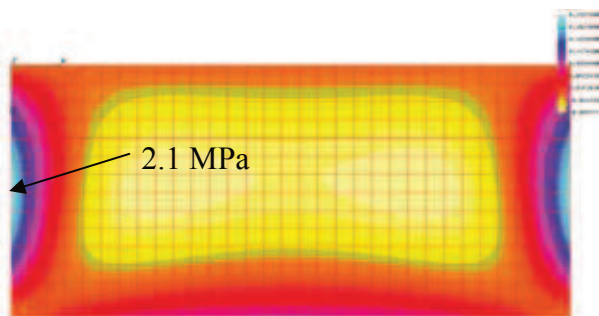
Dla płyty swobodnie podpartej na górnej krawędzi i utwierdzonej na pozostałych krawędziach, największe naprężenia σ_x występują w środku utwierdzeń pionowych i wynoszą ok 2,1 MPa (rys. 3). Natomiast dla tej płyty największe naprężenia σ_y występują w dolnym utwierdzeniu i wynoszą około 4,0 MPa (rys. 4). Naprężenia powyższe powstają od następującej wielkości momentów charakterystycznych:

$$M_{d,y} = 0,21 \cdot 60000 = 12600 \text{ kNcm} = 126,00 \text{ kNm}$$

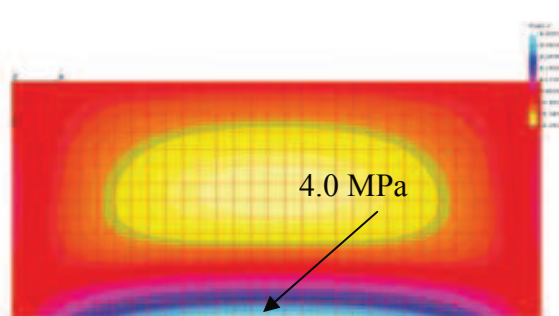
$$M_{d,x} = 0,40 \cdot 60000 = 24000 \text{ kNcm} = 240,00 \text{ kNm}$$



Rys. 2. Naprężenia σ_y dla płyty swobodnej na górnej krawędzi i utwierdzonej na pozostałych krawędziach



Rys 3. Naprężenia σ_x dla płyty swobodnie podpartej na górnej krawędzi i utwierdzonej na pozostałych krawędziach



Rys 4. Naprężenia σ_y dla płyty swobodnie podpartej na górnej krawędzi i utwierdzonej na pozostałych krawędziach

Z przeprowadzonych obliczeń kontrolnych nośności dla ściany zbiornika o gruności 40cm wynika, iż w osadniku nie zachodzi obawa przekroczenia stanu granicznego nośności. Stwierdzono natomiast, że fragmenty ścian nie spełniają normowego warunku pojawienia się rys o rozwarości nie większej niż 0,1 mm. Sprawdzenie szerokości rozwarcia rys prostopadłych do osi elementu wykonano na podstawie obowiązującej w momencie projektowania zbiornika normy PN-84/B-03264. Otrzymano wartości pomiędzy 0,12 a 0,23 mm, a więc powyżej dopuszczalnego 0,1 mm. Obliczono również odkształcenia skurczowe. Według obecnie obowiązującej normy, wartość obliczeniowa odkształceń skurczowych jest znacznie większa niż w okresie opracowywania projektu. Dla płyty o długości boku równej długości ściany zbiornika 15 m, całkowite skrócenie wywołane skurczem betonu mogą sięgać wartości $\Delta l = 4,5$ mm.

5. Wnioski

Przyczynami powstania rys w ścianach zbiornika była suma kilku niekorzystnych zjawisk: wystąpienia odkształceń skurczowych oraz oddziaływań termicznych, zaprojektowanie zbiornika niezgodnie ze sztuką inżynierską w okresie transformacji norm, a także uchybienia wykonawcze w trudnych i zmiennych warunkach atmosferycznych oraz przedłużający się proces realizacji.

Morfologia rys w ścianach zbiornika wskazują, że głównymi przyczynami ich powstania były odkształcenia skurczowe betonu i oddziaływania termiczne. Potwierdziły to wykonane obliczenia kontrolne, z których wynika, iż rozwarcie rys w wielu miejscach w ścianach nie spełnia warunków normowych.

Jak wiadomo, rozwarość rys w betonie jest wprost proporcjonalna do średnicy prętów. Im większa średnica prętów zbrojeniowych, tym większa rozwarość rysy. W szczelnych zbiornikach należy dążyć do stosowania jak najmniejszych średnic. W omawianym zbiorniku zastosowano zbyt duże średnice zbrojenia głównego (25 mm).

Klasę betonu na podstawie szacunkowych badań określono jako zgodną z projektem. Nieznany jest natomiast skład mieszanki betonowej. Im beton jest bardziej wytrzymały i z większą liczbą dodatków, tym bardziej jest wrażliwy na sposób pielęgnacji, szczególnie w początkowym okresie dojrzewania. Część ścian wykonywana była w okresie jesienno-zimowym. Zapewne na powstanie wielu rys w ścianach zbiornika, miały wpływ czynniki technologiczne i działania atmosferyczne. Pozostawienie nieukończonych budowli i niewykonanie niezbędnych zabezpieczeń przyczyniło się do tego, że zrealizowane fragmenty konstrukcji ulegają procesowi niszczenia.

Dodatkowo, konstrukcja nie jest podzielona dylatacjami, a ściany zbiorników zaprojektowano bez przerw technologicznych, co również było powodem wystąpienia kilku rys.

W celu naprawy zaistniałych szkód, w miejscach nieuszczelnienia wykonano jest iniekcje żywicami poliuretanowymi (MC-Injekt 2300 i MC-Injekt 2033 firmy MC-Bauchemie). Metoda naprawy okazała się skuteczna. W efekcie nastąpiło uszczelnienie rys i zniknęły zawilgocone powierzchnie. Ponadto zbiornik został ocieplony, w związku z czym zmniejszony został gradient temperatury w jego ścianach. Zbiorniki zostały dopuszczone do eksploatacji pod warunkiem intensywnej obserwacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN - 88/B - 01800. Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Klasyfikacja i określenie środowisk.
- [2] PN-EN 206-1:2003/Ap1:2004. Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [3] PN - 84/B - 03264. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [4] PN - B - 03264:02. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie (nowelizacja normy PN - 03264/99)
- [5] PN - 88/B-10702. Wodociągi i kanalizacja. Zbiorniki. Wymagania i badania przy odbiorze
- [6] Flaga K., Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004