XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna awarie budowlane 2013

CEZARY AJDUKIEWICZ, *c.ajdukiewicz@il.pw.edu.pl*
SZCZEPAN LUTOMIRSKI, *s.lutomirski@il.pw.edu.pl*
MARCIN GAJEWSKI, *m.gajewski@il.pw.edu.pl*
Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

NIERÓWNOMIERNY SKURCZ JAKO PRZYCZYNA POWSTANIA RYS W ŻELBETOWYCH ZBIORNIKACH OSADNIKÓW

IRREGULAR SHRINKAGE AS A CAUSE OF CRACKING OF REINFORCED CONCRETE SEDIMENTATION TANKS

Streszczenie W pracy analizowane są przyczyny powstania rys w żelbetowych zbiornikach walcowych pracujących jako osadniki wtórne w modernizowanej oczyszczalni ścieków. W ramach modernizacji płaszcz zbiorników wykonano jako nadbudowę na ścianach istniejących zbiorników. Zapewniono odpowiednie połączenie starego zbiornika z nadbudowanym płaszczem jednak odkształcenia skurczowe spowodowały powstanie licznych rys i nieszczelności.

Abstract In the paper the causes of cracks initiation in reinforced concrete cylindrical tanks working as a secondary sedimentation tanks in modernized sewage treatment plant are analyzed. The modernization of the tanks shell walls was made as a superstructure built on existing reservoirs walls. Although, the proper connection of the old tank with new-built superstructure was ensured the shrinkage strains caused a number of cracks and leaks.

1. Wstęp

Analizowane są dwa identyczne żelbetowe zbiorniki osadników wtórnych (nazywane dalej obiektami „A" i „B"), które stanowią ostatnie obiekty w ciągu biologicznego oczyszczania ścieków – rys. 1. Służą one do ostatecznego oddzielenia w procesie sedymentacji kłaczków osadu czynnego od oczyszczonych biologicznie ścieków. Sedymentujący osad jest przemieszczany przy pomocy zgarniacza do leja osadowego, a następnie odprowadzany do komór osadu recyrkulowanego, a oczyszczone ścieki odpływają przez przelewy pilaste i koryta przelewowe do kanału zbiorczego i dalej do znajdującej się w pobliżu rzeki.

Zgodnie z projektem inwestycja modernizacji oczyszczalni ścieków została podzielona na dwa etapy realizacyjne. W pierwszym etapie zaprojektowano ciąg o średnim przepływie zanieczyszczeń 10500 m³/dobę. Dla drugiego etapu modernizacji (drugiego ciągu) oczyszczalni przyjęto identyczny średni przepływ zanieczyszczeń. W projekcie modernizacji osadników wtórnych (obiekty „A" i „B") przewidziano wykorzystanie starych ścian zbiorników walcowych o średnicy wewnętrznej 25 m i wysokości 2,30 m. Przewidziano nadbudowę (podwyższenie) istniejących ścian osadników o 1,15 m oraz wykonanie warstwy naprawczej na dnie zbiorników. Z dokumentacji powykonawczej i dziennika budowy wynika, że w obu osadnikach wykonano jednak żelbetową płytę denną o grubości 15 cm.

Do połączenia nowej ściany ze starą zastosowano pręty wklejane ϕ14 co 22 cm. Do uszczelnienia zaś połączenia starej ściany z nową zaprojektowano we wnętrzu ściany wkładki z masą pęczniejącą. Ściany zbiornika zaprojektowano z betonu B25/W4/F150 zbrojonego prętami

stalowymi klasy AII. Płaszcz zbiornika zbrojono dwoma rzędami pionowych prętów ϕ10 co 22 cm i poziomych ϕ10 co 10 cm. Zgodnie z projektem pręty zbrojenia usytuowano tak, że otulina prętów poziomych wynosi 8 cm pionowych zaś 7 cm. W ścianach osadników wstępnych zaprojektowano przerwy skurczowe o szerokości ok. 65 cm co około 16 m. Na powierzchni zewnętrznej osadników wtórnych ułożono tynki akrylowe, a od wewnątrz powierzchnie ścian zbiorników zabezpieczono wodoszczelną wyprawą.

Rozpoczęcie prac przygotowawczych do modernizacji zbiornika „A" nastąpiło na początku listopada, a dla zbiornika „B" w połowie listopada 2008 roku. Betonowanie płaszczy zbiornika wykonywano odpowiednio pod koniec listopada i w pierwszej dekadzie grudnia 2008 r. Przerwy skurczowe w zbiorniku „A" zabetonowano po ok. trzech tygodniach od wykonania segmentów płaszcza. Po dwóch tygodniach od zabetonowania przerw skurczowych w zbiorniku „A" temperatury były nawet niższe niż –20°C. Przerwy skurczowe w osadniku „B" zabetonowano w połowie stycznia 2009 roku. Płyty denne wykonano w maju 2009 roku, zaś próby wodne obu zbiorników wykonano w lipcu 2009 roku.

Rys. 1. Widok ogólny osadników wtórnych – po lewej stronie widoczne są obiekty „A" i „B" zaś na drugim planie dwa osadniki przewidziane do modernizacji

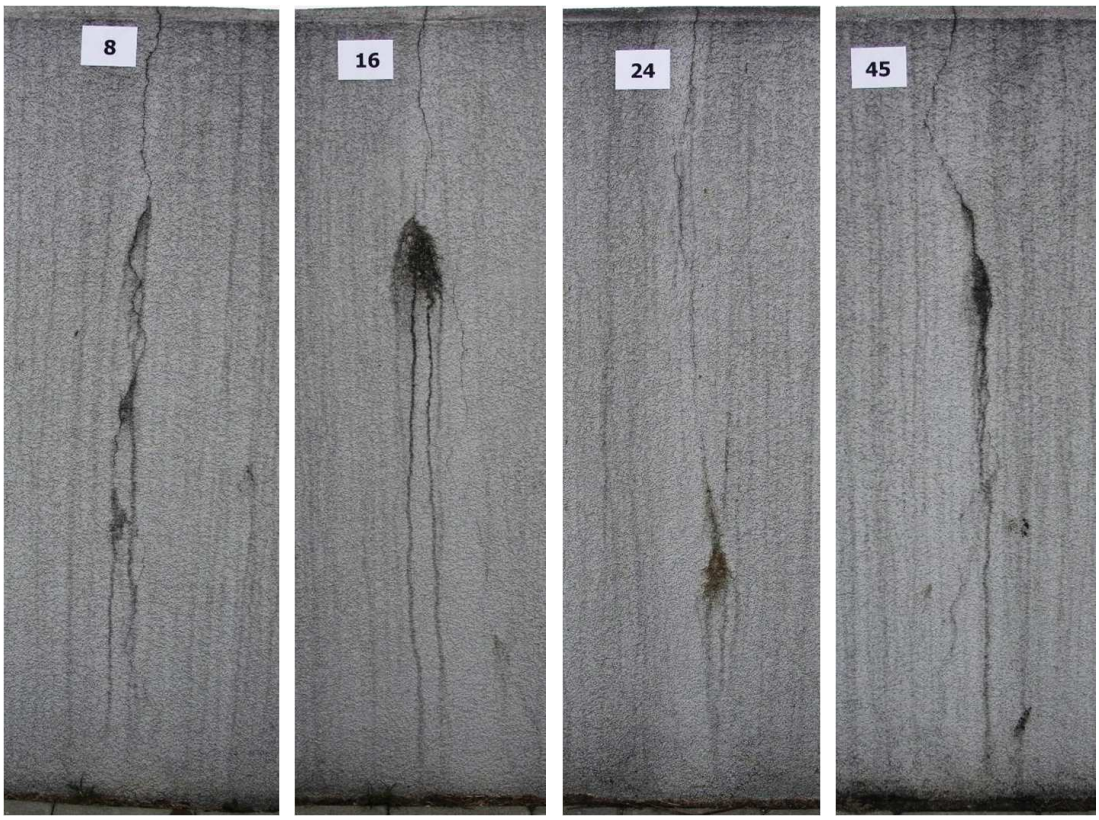
2. Badania terenowe stanu technicznego zbiorników

W lutym i marcu 2011 roku autorzy referatu dokonali kilku oględzin zewnętrznych powierzchni płaszczy zbiorników [5]. W czasie wizji lokalnych temperatury powietrza były w granicach –5÷2°C. Zmierzona temperatura ścieków wynosiła około 10°C. Badania wizualne miały na celu zapoznanie się z obecnym stanem obiektów. W czasie wizji lokalnych wykonywano badania terenowe, rejestrowano graficznie i fotograficznie występujące usterki ścian zbiorników w postaci zacieków, powierzchniowych przebarwień i rys.

Zbiorniki osadników wtórnych „A" i „B" wykonano w jednakowy sposób przez nadbudowę ścian betonowych na ścianach starych zbiorników powiększając w ten sposób ich pierwotną objętość. Z badań wykonanych ferometrem wynika, że pręty poziome w zbiornikach ułożono w większej odległości niż przewidziano w projekcie zmniejszając procent zbrojenia przekroju. W poziomie połączenia starych ścian z nowymi nie zaobserwowano żadnych usterek na ścianach pokrytych tynkiem akrylowym. Jednak w nowych ścianach zaobserwowano wiele rys i przecieków wzdłuż rys pionowych, które w niektórych rysach mają postać wykwitów i wytrąceń.

W zbiornikach wystąpiły nieszczelności ścian które doprowadziły do powstania wilgotnych plam oraz plam z pojedynczymi kroplami wody. Nie zaobserwowano na powierzchni ścian plam ze spływającymi po niej kroplami wody. Przykłady rys powstałych na ścianach zbiornika „B" przedstawiono na rys. 2, także [5]. Ich długość jest różna, jednak wszystkie inicjują się na koronie zbiornika, a przy połączeniu płaszcza ze starą częścią zbiornika rysy nie występują.

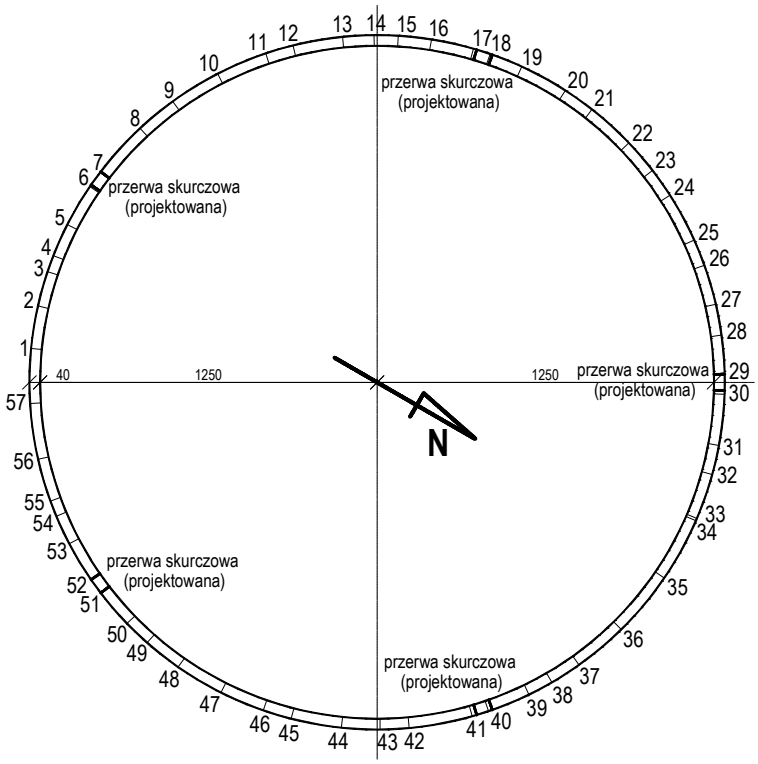
Na rys. 3 pokazano fragment rysy na koronie zbiornika „B" w 40 krotnym powiększeniu. Rozmieszczenie rys na koronie i powierzchniach bocznych przykładowo dla części obiektu „B" przedstawiono na rys. 4 i 5.



Rys. 2. Wybrane rysy na powierzchni bocznej zbiornika „B"

Rys. 3. Rysa nr 8 na koronie zbiornika (powiększona 40 krotnie)

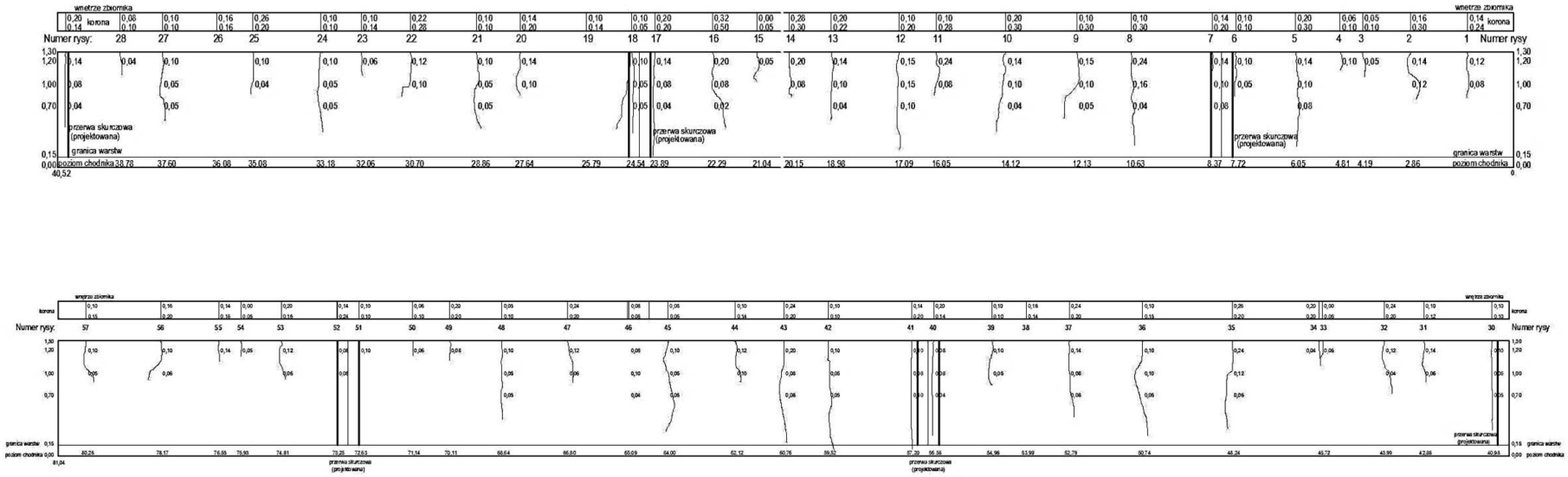
Ocena rozwartości rys była przybliżona ze względu na ułożenie tynków na powierzchni zewnętrznej zbiorników i wyprawy wodoszczelnej wewnątrz zbiorników. Prawdopodobnie w czasie wizji lokalnych nie zaobserwowano wszystkich rys, a w szczególności rys włoskowatych, które mogą się znajdować pod powierzchnią tynku. Rysy mierzono za pomocą mikroskopu Brinella, którego elementarna działka wynosiła 0,02 mm. Rozwartość rys mierzono w dwóch miejscach na koronie (od wewnątrz i od zewnątrz zbiornika) i trzech miejscach na zewnętrznej powierzchni bocznej zbiorników tj. 10, 35 i 60 cm poniżej korony.



Rys. 4. Układ rys na koronie zbiornika „B”

Suma rozwartości rys po obwodzie wewnętrznym na koronie zbiornika „A” wynosi około 5 mm po zewnętrznym zaś około 7 mm. Na zbiorniku „B” wielkości te odpowiednio wynoszą około 8 i 10 mm. Łączna liczba rys o rozwartości powyżej 0,2 mm w zbiorniku „A” wynosi 15 a w zbiorniku „B” – 29. Rozwartości rys na koronie są największe. Rozwartość tych rys zmniejsza się w dół ściany i w większości rysy te zamykają się przy połączeniu ściany nowej ze starą. Rozwartość rys 35 cm poniżej poziomu korony sporadycznie przekracza 0,1 mm, a na poziomie 60 cm poniżej korony w kilku miejscach przekracza 0,05 mm. Na rys. 2 przedstawiono przykłady rys: o niewielkim zasięgu, przebiegające od korony do połączenia betonu nowego ze starym oraz rysy przebiegające po prawie całej nadbudowanej części ścian wraz z niewielkimi zaciekami.

W ramach analizy przyczyn spękania zbiorników wykonano badania terenowe i studyjne. Przeprowadzono badania sklerometryczne w celu określenia jednorodności oraz wytrzymałości betonu w różnych lokalizacjach i w różnych odległościach od korony zbiorników. Pomiary metodą nieniszczącą wykonano za pomocą młotka Schmidta typu N, zgodnie z odpowiednią normą i instrukcją ITB. W losowo wytypowanych fragmentach ścian analizowanych zbiorników wybierano kilka miejsc do pomiaru twardości powierzchniowej i odczytywano liczby odbicia (L_i) sklerometru. W każdym miejscu pomiarowym rejestrowano od pięciu do ośmiu liczb odbicia.



Rys. 5. Układ rys o numerach od 1-29 na powierzchni zewnętrznej zbiornika „B”

Na podstawie liczby odbicia i współczynnika zmienności liczby odbicia określono: średnią oraz dolną granicę wytrzymałości betonu na ściskanie oraz współczynniki: jednorodności i zmienności wytrzymałości. W badaniach przyjęto krzywe regresji opracowane dla betonu zwykłego. Uwzględniono współczynniki poprawkowe korygujące klasę betonu w zależności od wieku betonu (o wartości 0,70) oraz jego stanu wilgotnościowego (o wartości 1,12). W zbiornikach „A" i „B" we wszystkich badanych miejscach oszacowano, że beton spełnia wymagania dla klasy B20, a lokalnie wytrzymałość betonu jest zgodna z projektowaną B25. Niedostateczna wytrzymałość w znacznej mierze była wynikiem niestarannego wykonawstwa oraz braku pielęgnacji świeżego betonu przy stosunkowo niekorzystnych warunkach pogodowych (temperatura w nocy spadała poniżej zera).

3. Analiza statyczno-wytrzymałościowa

Obliczenia statyczne zbiorników „A" i „B" przeprowadzono, korzystając z rozwiązania powłoki walcowej zaprezentowanego w podręczniku [8]. Model analityczny zbiornika stanowi cylindryczny płaszcz sztywno połączony z płytą denną. Przyjęto założenie o symetrii osiowej, a oddziaływanie od parcia ścieków i gruntu zamodelowano w postaci obciążenia liniowo zmiennego. Wobec tego równanie różniczkowe rozwiązano w trzech przedziałach uwzględniając odpowiednie warunki brzegowe i ciągłości. Na podstawie przeprowadzonych analiz pracy statycznej płaszcza powłoki walcowej stwierdzono, że w zbiornikach stany graniczne nośności i użytkowalności nie zostały przekroczone.

4. Analiza odkształceń skurczowych

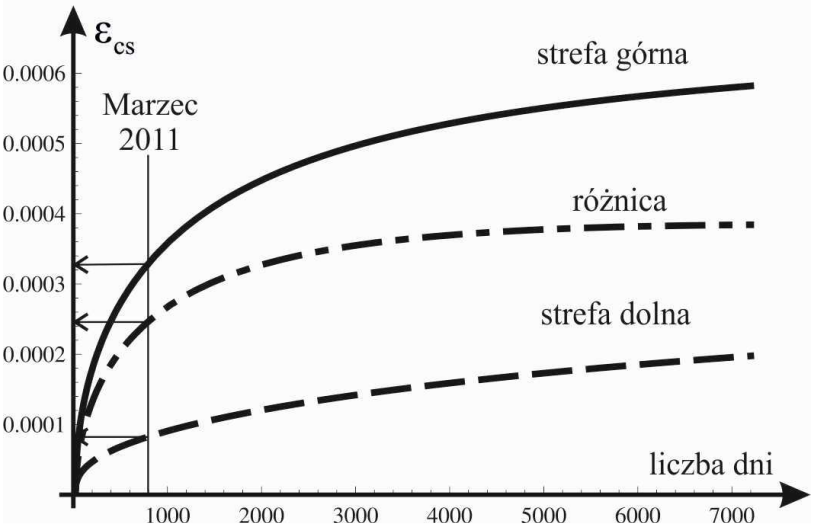
Na podstawie kontrolnych obliczeń statycznych można stwierdzić, że przyczyną powstałych rys w koronie płaszcza zbiornika nie było obciążenie od parcia cieczy. Maksymalne wartości momentów zginających wyznaczone w analizowanych zbiornikach są dużo mniejsze od momentów granicznych. Morfologia rys [4, 7] świadczy, że główną przyczyną powstania uszkodzeń zlokalizowanych przy koronie zbiorników są odkształcenia skurczowe i termiczne. Hipoteza ta zostanie zweryfikowana przez obliczenia odkształceń wywołanych skurczem według normy żelbetowej obowiązującej w czasie projektowania. Obliczenia będą dotyczyły tylko części nowobudowanych płaszczy zbiorników, gdyż przyjęto, że w pozostałych częściach zbiornika odkształcenia skurczowe ustabilizowały się i fundament ogranicza możliwość odkształceń obwodowych płaszcza zbiornika.

Według normy żelbetowej [6] skurcz betonu zależy między innymi od miarodajnego wymiaru przekroju elementu (h_0) [3]. Na wysokości płaszcza zbiornika zmieniają się warunki środowiskowe. Dla porównania odkształceń skurczowych w rozważanych zbiornikach wydzielono odpowiednio po dwie strefy miarodajnego przekroju elementu. Pierwsza strefa obejmuje koronę zbiorników do poziomu ścieków, druga zaś znajduje się poniżej poziomu ścieków w zbiorniku (do poziomu gruntu). Na zamieszczonym dalej rys. 6 przedstawiono przyrost całkowitych odkształceń skurczowych ε_{cs} w płaszczu zbiornika w funkcji czasu dla dwóch wyróżnionych stref zbiorników, a także różnicę pomiędzy odkształceniami skurczowymi strefy górnej i dolnej.

Z przedstawionych wyżej wykresów wynika, że w marcu 2011 roku całkowity skurcz betonu w ścianach zbiorników wynosił około 40÷50% skurczu końcowego.

W normie [6] i Eurokodzie 2 w celu przeciwdziałania pękaniu elementów betonowych na skutek skurczu, zaleca się m.in. stosowanie zbrojenia o przekroju większym niż minimalne określone wzorem (111 z normy [6] i jego odpowiednikiem z Eurokodu 2): Korzystając z tego wzoru obliczono minimalne zbrojenie przekroju $A_{s,\min}$ i na tej podstawie określono minimalną

średnicę pręta zbrojeniowego (przy założeniu rozstawu prętów takiego jak w projekcie) albo maksymalnego rozstawu r_{max} (przy założeniu średnicy prętów zgodnie z projektem. Uzyskane w ten sposób wyniki, zestawiono w tab. 1. W celu porównania otrzymanych wyników z przyjętymi w projekcie w kolumnie 1 i 2 przedstawiono odpowiednio wartości średnic i rozstawu prętów przyjęte w projekcie. Porównując zestawione rezultaty widać, że we wszystkich przypadkach nie został spełniony warunek minimalnego zbrojenia ze względu na skurcz w rozważanych zbiornikach.



Rys. 6. Całkowite odkształcenia skurczowe w wyszczególnionych strefach w funkcji czasu oraz różnica odkształceń w strefie górnej i dolnej – zbiorniki „A" i „B"

Tablica 1. Wyniki na minimalny stopień zbrojenia na tle danych z projektu

Wg projektu		σ_s **[MPa]**	**Wg normy [6] (k = 0,8)**		**Wg Eurokodu 2 (k = 1)**	
Ø [mm]	***r*** **[cm]**		ϕ_{min} **[mm]**	r_{max} **[cm]**	ϕ_{min} **[mm]**	r_{max} **[cm]**
10,0	10,0	113,9	12,1	6,9	13,5	5,5

5. Wnioski i metody naprawy zbiorników

Na podstawie przeprowadzonych analiz, wizji lokalnych, badań, obliczeń statycznych oraz dotychczasowych doświadczeń stwierdzono:

Przyczyną uszkodzeń w postaci rys w badanych obiektach są oddziaływania temperatury i skurczu w betonie wynikające z niekorzystnego oddziaływania środowiska w czasie betonowania zbiorników oraz z popełnionych błędów wykonawczych i projektowych [2].

Zasadniczym błędem projektowym było przyjęcie zbyt małego procentu zbrojenia przeciwskurczowego oraz nie zaprojektowanie wieńca w koronie zbiorników.

Błędami wykonawczymi były natomiast niedostateczna pielęgnacja betonu w okresie zimowym i zbyt szybkie zabetonowanie przerw przeciwskurczowych [1].

Istniejące uszkodzenia i rysy w obecnym stanie nie zagrażają konstrukcji i nie stanowią zagrożenia dla środowiska. Największa rozwartość rys występuje przy koronie zbiorników i zmniejsza się w kierunku dna zbiornika. Występujące zacieki są wynikiem wypłukiwania przez wodę opadową masy izolacyjnej.

Po analizie wyników badań ocenia się, że zbiorniki w stanie, w jakim zostały zaprojektowane i wykonane, mogą być dalej użytkowane. Wymagają one jednak uszczelnienia. Zaproponowano wariantowe sposoby uszczelnienia.

Rysy o rozwartości większej niż 0,2 mm należy wypełnić wykonując iniekcje ciśnieniowe z zastosowaniem elastycznej żywicy na bazie poliuretanowej. Rysy o rozwartości mniejszej zamknąć powierzchniowo zaprawą szybkowiążącą. Po wykonaniu iniekcji należy naprawić tynki i powierzchnię jezdną zgarniacza. W celu zabezpieczenia powierzchni jezdnej wskazane jest wykonanie parapetu z blachy nierdzewnej.

Dodatkowo w celu zmniejszenia gradientów temperatury w ścianach wszystkich zbiorników można wykonać na ich zewnętrznej powierzchni izolację termiczną. W analizowanym zbiorniku obciążenie termiczne generuje największe siły wewnętrzne, a tym samym stanowi podstawowe obciążenie dla konstrukcji.

Zbiorniki można uszczelnić przez zastosowanie zewnętrznych kabli niskotarciowych Rozkład kabli należy ustalić na podstawie analizy statyczno-wytrzymałościowej zarysowania zbiornika i tak dobrać, aby zamknąć występujące rysy pionowe po sprężeniu, z uwzględnieniem strat reologicznych.

Literatura

1. Bialik G., Kępa Cz., Misiak W., Strzemiecki S.: Warunki techniczne wykonania i odbioru robót w dziedzinie gospodarki wodnej w zakresie konstrukcji hydrotechnicznych z betonu. Ministerstwo Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa 1994.
2. Dyduch K., Płachecki M.: Błędy projektowe i wykonawcze w żelbetowych zbiornikach na wodę i ścieki, XII Konferencja Naukowo-Techniczna: żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze, s. 63÷72, Kraków 2003.
3. Flaga K.: Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych, Monografia 391, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2011.
4. Godycki-Ćwirko T.: Morfologia rys w konstrukcjach z betonu, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 1982.
5. Lutomirski Sz. i inni: Ekspertyza naukowo – techniczna dotycząca stanu technicznego zbiorników żelbetowych w przebudowywanej oczyszczalni ścieków w …, marzec 2011.
6. PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe. Żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
7. Seruga A. Szydłowski R., Zych M.: Ocena postępującego procesu zarysowania ścian cylindrycznych w monolitycznych zbiornikach żelbetowych, Czasopismo Techniczne, zeszyt 1-B/2008, s. 135-163, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2008.
8. Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S.: Teoria Płyt i Powłok, Arkady, 1962.