Postprint of: Majewski T., Niedostatkiewicz M., Błędy projektowe przyczyną stabu awaryjnego żelbetowego zbiornika na koks (2022), s. 549 - 560, XXX International Conference on Structural Failures, 23-27.05.2022r, Międzyzdroje, Szczecin: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
http://www.awarie.zut.edu.pl/files/ab2022/sesja6/06-04%20Majewski%20T%20i%20in%20-%20Bledy%20projektowe%20przyczyna%20stanu%20awaryjnego%20zelbetowego%20zbiornika%20na%20koks.pdf

BŁĘDY PROJEKTOWE PRZYCZYNĄ STANU AWARYJNEGO ŻELBETOWEGO ZBIORNIKA NA KOKS

TOMASZ MAJEWSKI[1], *tomimaj@pg.edu.pl*
MACIEJ NIEDOSTATKIEWICZ[2]
[1]Szkoła Doktorska Wdrożeniowa, Politechnika Gdańska
[2]Katedra Konstrukcji Inżynierskich, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

Streszczenie: W artykule przedstawiono opis uszkodzeń konstrukcji otwartego prostopadłościennego żelbetowego zbiornika który stanowi element ciągu technologicznego produkcji koksu w zakładzie rafineryjnym. Występujące uszkodzenia zbiornika były następstwem istotnego błędu projektowego. W pracy przedstawiono koncepcję naprawy możliwej do przeprowadzenia w trakcie ciągłej pracy instalacji, z podziałem na etapy realizacji.

Słowa kluczowe: zbiornik żelbetowy, błędy projektowe, rysy, pęknięcia, naprawa, wzmocnienie, iniekcja.

1. Wstęp

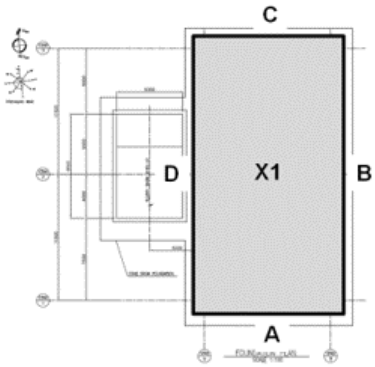
Dokumentacja projektowa obiektu przemysłowego powinna uwzględniać wszystkie wymagania i ograniczenia technologiczne, które wstąpią lub mogą wystąpić w trakcie budowy, rozruchu i eksploatacji obiektu. Jakość opracowanej dokumentacji projektowej oraz zachowanie reżimu technologicznego podczas prowadzenia robót budowlanych mają decydujący wpływ na późniejsze bezpieczeństwo konstrukcji, jak również bezpieczeństwo użytkowania obiektu budowlanego [1-3]. Usuwanie usterek i uszkodzeń w obiektach przemysłowych, które są już użytkowane i są ważnym elementem linii produkcyjnej zakładu przemysłowego jest szczególnie trudne z uwagi na fakt, że są one najczęściej eksploatowane w trybie ciągłym i nie mogą być wyłączone z eksploatacji na czas naprawy [4-7]. W artykule opisano usterki i uszkodzenia otwartego, prostopadłościennego żelbetowego zbiornika na ciepłą wodę technologiczną, który uległ awarii i został poważnie uszkodzony w trakcie krótkiego okresu eksploatacji [8-12]. W artykule przedstawiono również zaproponowane rozwiązanie usunięcia występujących uszkodzeń konstrukcji zbiornika.

2. Dane ogólne

Zbiornik X1 (oznaczenie według nomenklatury zakładowej) powstał w ramach rozbudowy wewnętrznych instalacji produkcyjnych zakładu rafineryjnego. Był to zbiornik jednokomorowy o konstrukcji żelbetowej, posadowiony na płycie fundamentowej opartej na palach. Wymiary zewnętrzne zbiornika wynosiły: szerokość B = 8,2 m, długość L = 20,7 m, maksymalna głębokość H_1 = 7,25 m, wysokość całkowita H_2 = 8,1 m (wysokość ścian od posadzki do górnej krawędzi). Obok przedmiotowego zbiornika X1, znajdował się drugi, mniejszy zbiornik żelbetowy, oznaczony jako X2 (B = 6,7 m, L = 10,2 m, H_1 = 7,25 m, H_2 = 8,1 m). Konstrukcyjnie oba zbiorniki były oddylatowane od siebie i stanowiły całkowicie odrębne konstrukcje (Rys. 1). Zbiornik X2 nie jest objęty treścią niniejszego artykułu, jednak

należy dodać, że zbiornik ten również charakteryzował się rozległymi uszkodzeniami które powstały, podobnie jak w przypadku zbiornika X1, w krótkim czasie od oddania instalacji do użytkowania.

Ściany zewnętrzne zbiornika X1 zostały wykonane jako żelbetowe, monolityczne, wylewane na mokro na miejscu. Ściany zaprojektowano o stałej grubości 35 cm z betonu klasy C30/37, zbrojonego prętami klasy A-III N. Ze względów technologicznych w środku zbiornika wykonane były rampy zsypowe umożliwiające spływ gorącego koksu do pomp odprowadzających. Na wewnętrznych powierzchniach ścian i ramp zsypowych zamontowane były okładziny z płyt bazaltowych których zadaniem była ochrona betonu przed abrazją.



Rys. 1. Zbiornik żelbetowy X1: A, B, C oraz D-oznaczenia ścian zbiornika, widoczny przyległy od strony ściany D zbiornik X2

Z otrzymanych od przedstawicieli Użytkownika informacji ustnych wynikało, że w krótkim okresie od rozpoczęcia eksploatacji zbiornika X1, na powierzchni jego ścian pojawiły się liczne rysy i pęknięcia, przez które przeciekała woda. W okresie pierwszego roku eksploatacji eksploatacji zbiornik X1 były dwukrotnie naprawiany. Naprawa polegała na wykonaniu iniekcji uszczelniającej w miejscach aktywnych przecieków, jednak pomimo wykonanych napraw zbiornik nadal przeciekał: iniekcja okazała się nieskuteczna, a na powierzchni ścian powstawały nowe przecieki w miejscach nienaprawianych.

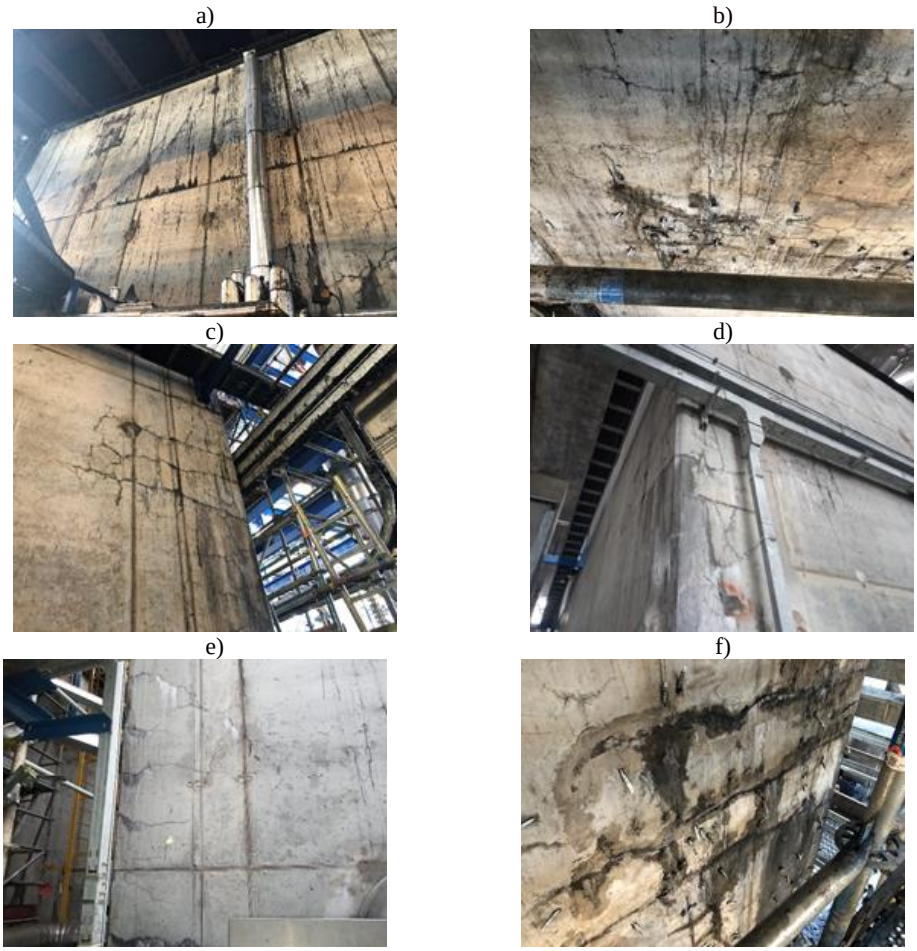
3. Opis usterek i uszkodzeń zbiornika

W trakcie oględzin i pomiarów diagnostycznych stwierdzono:

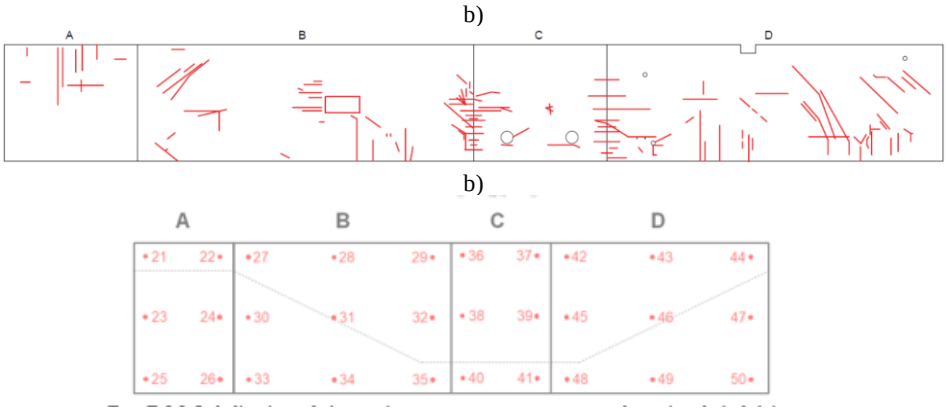
- liczne rysy i pęknięcia,
- w miejscach rys i pęknięć widoczne był czarne „warkocze” sklejonego pyłu węglowego, które występowały szczególnie intensywnie na ścianach podłużnych wschodniej (B) (Rys. 2a, b) i zachodniej (D),
- intensywne zarysowanie narożników, w szczególności północno-wschodniego (C/B) (Rys. 2c, d) oraz południowo-wschodniego (A/B) (Rys.2e, f)
- w wielu miejscach widoczne aktywne przecieki wody przez istniejące rysy i pęknięcia,
- widoczne rozległe zmiany struktury betonu – niedostateczne zawibrowanie,
- widoczne ślady po wcześniej wykonanych naprawach (iniekcji),
- w naprawionych miejscach (wypełnionych rysach) widoczne aktywne przecieki wody.

Na Rys. 3a przedstawiono morfologię rys o szerokości rozwarcia powyżej 3 mm.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 2. Zbiornik X1-rysy i pęknięcia: a), b) na ścianie wschodniej (B), c), d) w narożniku północno-wschodnim (C/B), e), f) w narożniku południowo-wschodnim (A/B)



Rys. 3. Zbiornik X1: a) morfologia rys i pęknięć, ściany zbiornika w rozwinięciu, b) lokalizacja punktów pomiarowych temperatury na powierzchni zewnętrznej zbiornika

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4. Analiza stanu istniejącego zbiornika

Na podstawie wstępnej analizy morfologii rys wytypowano jako potencjalne źródło problemów negatywny wpływ gradientu temperatury. W trakcie pobytów na obiekcie wykonano pomiary temperatury na zewnętrznej powierzchni ścian zbiornika w reprezentatywnych miejscach ścian (rys. 3). Pomiary temperatury wykonano dwoma metodami: punktowo przy użyciu pirometru skalibrowanego klasycznym termometrem przykładanym do powierzchni zbiornika oraz przy użyciu kamery termowizyjnej. W trakcie eksploatacji instalacji, w zbiorniku magazynowana była chłodna woda, do której dwa razy na dobę zrzucany był gorący koks. W okresie zrzutu następował nagły, niekontrolowany wzrost temperatury wody o kilkadziesiąt stopni Celsjusza. Temperatura wody w ciągu roku była różna i zależała od warunków atmosferycznych, zbiornik nie był ogrzewany, dlatego latem woda była cieplejsza a zimą chłodniejsza. Nigdy jednak nie doszło do zamarznięcia wody w zbiorniku. W trakcie napełniania zbiornika koksem, jest on odpompowywany ze zbiornika razem z wodą, która po odfiltrowaniu ponownie trafia do komory zbiornika.

Pomiar temperatury

Kontrolne pomiary temperatury zewnętrznych powierzchni ścian zbiornika X1 wykonano w okresie zimowym (luty), w jednym dniu przed i zaraz po zrzucie koksu (w odstępie 2 godzin):

- T_1 (21:00) – 25 min przed rozpoczęciem zrzutu materiału z reaktorów,
- T_2 (23:00)– 105 min po rozpoczęciu zrzutu materiału z reaktorów, tj. około 5 minut po zakończniu zrzutu.

Temperatura otoczenia (powietrza) wynosiła odpowiednio:

- T_{pow} (21:00) = 2,8 ^oC,
- T_{pow} (23:00) = 3,4 ^oC.

Maksymalna pomierzona na ścianie zbiornika X1 temperatura powierzchni betonu wynosiła 24 ^oC (pkt 24, godz. 23:00), minimalna 2,8 ^oC (pkt. 42, godz. 21:00) (Rys. 3b).

Temperatura wody w zbiorniku X1 wynosiła odpowiednio:

- T_{X1} (21:00) = 34,5 ^oC,
- T_{X1} (21:15) = 52,0 ^oC (maksymalna temperatura wody w trakcie zrzutu),
- T_{X1} (23:00) = 44,1 ^oC,

Pomierzone tempratry stanowiły dane wejściowe do wykonania sprawdzających obliczeń przeprowadzonych dla rzeczywistych warunków pracy zbiornika żelbetowego.

Skanowanie zbrojenia

Badanie nieniszczące jaki jest skanowanie zbrojenia przeprowadzono z zastosowaniem detektora ferromagnetycznego. Ilość, rozstaw oraz średnica prętów zbrojenia wbudowanego w ściany zbiornika (przy zewnętrznej płaszczyźnie ściany zbiornika) była zasadniczo zgodna z projektem. Średnia grubość otulenia prętów zbrojenia wynosiła od 7 do 8 cm i była większa niż założona w projekcie 4 cm.

Badania betonu

W celu oznaczenia rzeczywistej klasy betonu wbudowanego w ściany zbiornika pobrano do badań próbki betonu w formie odwiertów rdzeniowych.

Wbudowany w ściany zbiornika beton spełniał wymagania normy PN-EN 13791 [29] dla klasy wytrzymałości C40/50. W dokumentacji projektowej zbiornia przyjęto zastosowanie betonu klasy C30/37.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Gęstość objętościowa betonu w pobranych rdzeniach wynosiła od 2,33 g/cm^3 do 2,38 g/cm^3, średnia 2,37 g/cm^3.

Nasiąkliwość betonu w pobranych rdzeniach wynosiła od 4,3% do 4,9%, średnia 4,5%.

Zawartość jonów w stosunku do masy cementu kształtowała się następująco:

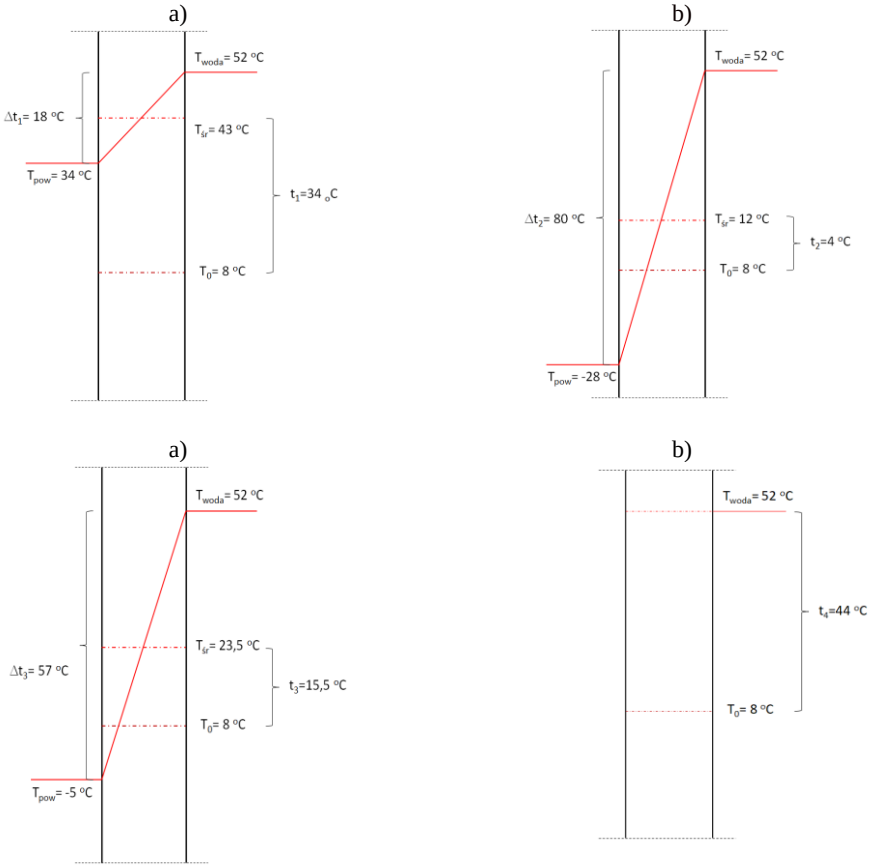
- Cl^- - od 0,020% do 0,026%,
- SO_4^{2-} - od 0,033% do 0,039%.

Odczyn *pH* betonu w pobranych próbkach wynosił od 11,8 *pH* do 12,1 *pH*, co oznaczało, że beton nie utracił naturalnej zdolności do ochrony zbrojenia przed korozją.

Jednorodność betonu wyznaczona metodą sklerometryczną przy pomocy młotka Schmidta typu N określona została jako dostateczna.

Sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

Wymiary oraz geometrię zbiornika przyjęto na podstawie udostępnionej dokumentacji powykonawczej. Obliczenia wykonano dla różnych przypadków obciążenia temperaturą oraz dla różnych klas betonu.



Rys. 4. Rozkład temperatury na ścianie zbiornika X1-przypadek: a) stan istniejący, lato -temperatury normowe, b) stan istniejący, zima-temperatury normowe, c) stan istniejący, zima 2020-temperatury rzeczywiste, d) stan projektowany zbiornik ocieplony, zima-temperatury normowe

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Do obliczeń przyjęto parametry materiałowe oznaczone na próbkach pobranych z obiektu a rozstaw i grubość otulenia na podstawie dokumentacji oraz wyników pomiarów wykonanych w trakcie wizji lokalnych [13-19]. Przyjęto do obliczeń wartości temperatury pomierzone na obiekcie w trakcie wizji lokalnych (przypadek rzeczywisty) oraz wartości temperatury określone w aktualnych normach projektowania (przypadek normowy). Obliczenia wykonano dla zbiornika nieocieplonego (stan istniejący) oraz dla ocieplonego (stan po naprawie).

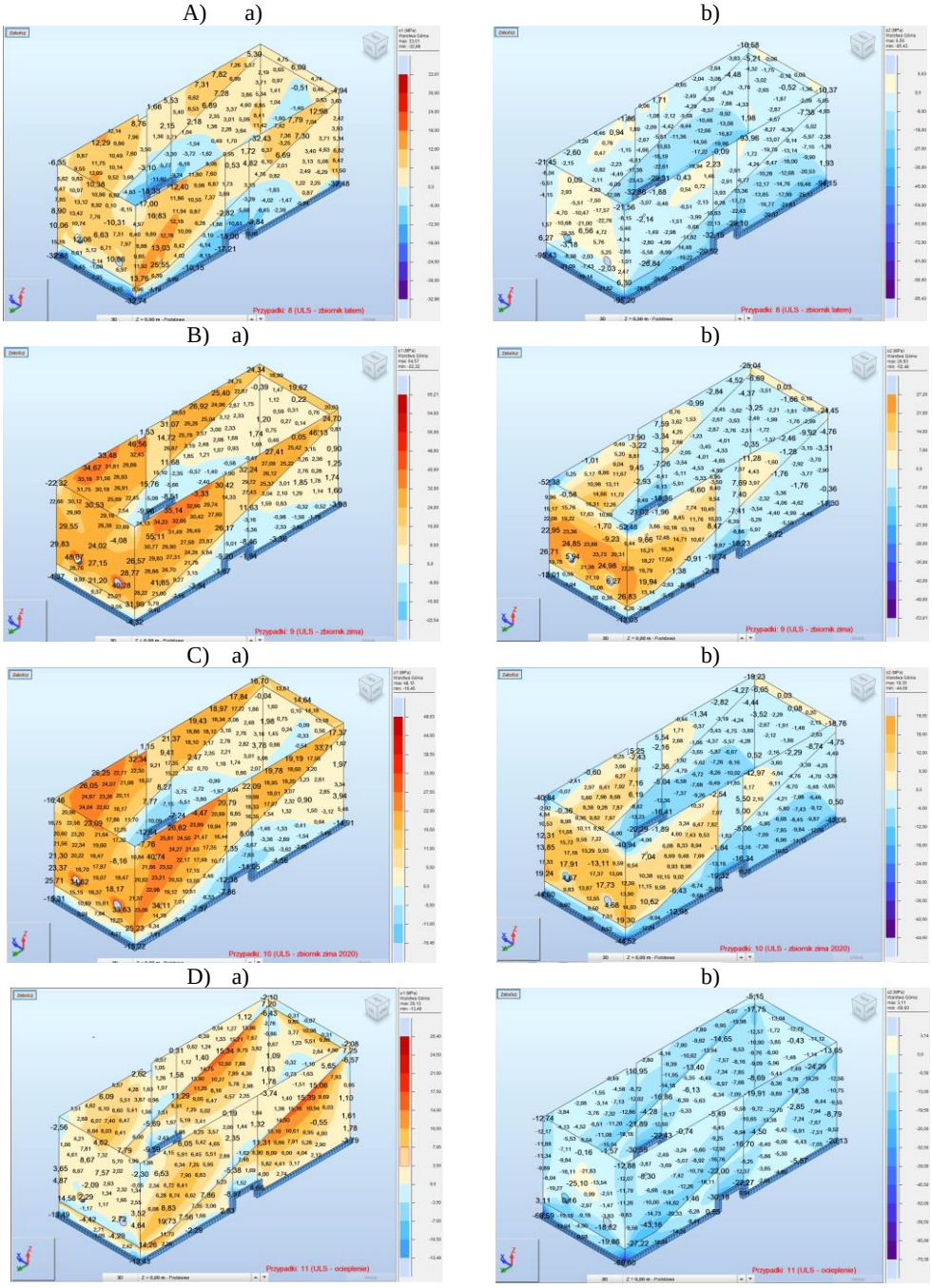
W toku obliczeń [20-32] uwzględniono następujące rodzaje i przypadki obciążenia:
- ciężar własny zbiorników,
- parcie hydrostatyczne wody,
- obciążenie termiczne (jednorodnym polem temperatury oraz gradientem temperatury na grubości), przykładanych na części powierzchni ścian mających kontakt z ciepłą wodą. Powyższe obliczenia przpeprowadzono dla przypadków:
  - stan istniejący, analiza w okresie letnim, normowa tempertura powietrza: T_{pow}=34 ºC, $T_{X1\ max}$=52 ºC (Rys. 4a),
  - stan istniejący, analiza w okresie zimowym, normowa tempertura powietrza: T_{pow}=-28 ºC, $T_{X1\ max}$=52 ºC (Rys. 4b),
  - stan istniejący, analiza w okresie zimowym, rzeczywista tempertura powietrza: T_{pow}=-5 ºC, $T_{X1\ max}$=52 ºC (Rys. 4c),
  - stan projektowany - zbiornik ocieplony, analiza w okresie zimowym, normowa tempertura powietrza: T_{pow}=34 ºC, $T_{X1\ max}$=52 ºC (Rys. 4d).

Z uwagi na zaobserwowane wycieki wody w strefach poniżej dna zbiorników tj. poniżej komory w strefie wypełnionej betonem spadkowym wykonano wstępne obliczenia dla dwóch wariantów obciążenia parciem wody:
- wariant I - parcie wody tylko w strefie komory, do głębokości dna (zmienna głębokość dna zbiornika),
- wariant II - parcie wody na całej wysokości ściany zbiornika do głębokości 7,55 m (wierzchu płyty fundamentowej).

Dla przyjętych wariantów obciążenia pominięto wpływ temperatury, zbiorniki obciążone były tylko ciężarem własnym i parciem wody (przypadek próby szczelności, tzw. próba wodna).

Na podstawie przeprowadzonej analizy statyczno-wytrzymałościowej zbiorników w stanie istniejącym stwierdzono, że:
- w stanie istniejącym, dla przypadku próby wodnej, bez uwzględnienia wpływu temperatury (wariant I oraz wariant II) zbiornik spełniał wymagania normowe Stanu Granicznego Nośności (SGN) (Ultimate Limit State (ULS)). Wbudowana ilość zbrojenia była wystarczająca do bezpiecznego napełnienia zbiornika chłodną wodą wodociągową (~10 ºC),
- w stanie istniejącym, w okresie letnim dla normowej wartości temperatury powietrza zbiornik spełniał wymagania normowe SGN (ULS) oraz SGU (SLS). Mapy naprężeń głównych σ_1 oraz σ_2 dla tego przypadku pokazano na Rys. 5A,
- w stanie istniejącym, w okresie zimowym dla normowej wartości temperatury powietrza zbiornik nie spełniał wymagań normowych SGN (ULS) oraz SGU (SLS). Mapy naprężeń głównych σ_1 oraz σ_2 dla tego przypadku pokazano na Rys. 5B,
- w stanie istniejącym, w okresie zimowym dla rzeczywistej pomierzonej w trakcie wizji lokalnej temperatury powietrza zbiornik nie spełniał wymagań normowych SGN (ULS) oraz SGU (SLS). Mapy naprężeń głównych σ_1 oraz σ_2 dla tego przypadku pokazano na Rys. 5C,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 5. Mapa naprężeń głównych σ_1 (a) oraz σ_2 (b) na zewnętrznej powierzchni ścian zbiornika X1 - przypadek: A) stan istniejący, lato-temperatury normowe, B) stan istniejący, zima-temperatury normowe, C) stan istniejący, zima-temperatury rzeczywiste, D) stan projektowany-zbiornik ocieplony, zima-temperatury normowe

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- po naprawie i ociepleniu, w okresie zimowym dla normowej wartości temperatury powietrza zbiornik będzie spełniał wymagania normowe SGN (ULS) i SGU (SLS). Mapy naprężeń głównych σ_1 oraz σ_2 dla tego przypadku pokazano na Rys. 5D.

Wyniki analizy stanu istniejącego oraz wyniki obliczeń sprawdzających potwierdziły wstępną tezę, że przyczyną usterek i uszkodzeń zbiornika X1 były błędy projektowe, do których zaliczono niedostateczną (za małą) ilość prętów zbrojenia oraz za dużą ich grubość otulenia. Zbiornik X1 był w stanie awaryjnym i wymagał naprawy (uszczelniania) oraz wzmocnienia.

W analizowanym zbiorniku odciążenie termiczne generowało największe siły wewnętrzne, tym samym stanowiło podstawowe obciążenie dla jego konstrukcji. Niedoszacowanie wpływu temperatury i pominięcie gradientu temperatury w obliczeniach na etapie projektowania stanowiło poważny błąd i wskazane zostało jako bezpośrednia przyczyna awarii (zarysowania ścian zbiornika i brak ich szczelności). Dla rzeczywistych, roboczych parametrów eksploatacyjnych (okresowych zmian temperatury wody) wbudowana ilość zbrojenia nie była wystarczająca do zapewniania jego szczelności. Naprężenia termiczne wywołane polem temperatury oraz jej gradientem na grubości ścian zbiornika były wielokrotnie większe (ponad 16 krotnie) od wytrzymałości betonu na rozciąganie (również dla betonu o wyższej niż założona w projekcie klasy C30/37). Wbudowane zbrojenie nie jest w stanie zapewnić szczelności (z uwagi na dopuszczalną szerokość rozwarcia rys 0,2 mm), w konsekwencji czego na powierzchni ścian powstały skrośne pęknięcia betonu, przez które wyciekała woda.

5. Sposób naprawy zbiornika

Kierując się ograniczeniami technologicznymi oraz uwarunkowaniami organizacyjno-ekonomicznymi zaproponowano naprawę zbiornika w dwóch ***Etapach***:
Etap I określony jako ***tymczasowy***, który spowolni tempo powstawania nowych uszkodzeń oraz ***Etap II*** określony jako ***docelowy***, który wyeliminuje przyczyny stwierdzonych usterek i uszkodzeń.

Etap I (tymczasowy)
Zakres prac obejmował uszczelnienie przeciekających ścian zbiornika przez:

- przepłukanie istniejących rys i pęknięć [33],
- wypełnienie rys elastycznym, polimerowym materiałem uszczelniającym,
- zagruntowanie całej powierzchni ścian (od strony zewnętrznej) środkiem gruntującym,
- nałożenie na całej powierzchni ścian wysokoelastycznej membrany polimerowo-epoksydowej,
- ocieplenie ścian na całej wysokości materiałem izolacyjnym jakim jest polistyrenem ekstrudowany (styrodur) o grubości 15 cm,
- tymczasowe zabezpieczenie wyprawą mineralną powierzchni izolacji termicznej przed uszkodzeniem mechanicznym – zalecono cienkowarstwowy tynk mineralny. Ocieplenie pod względem technologicznym będące formą ocieplenia według technologii ETICS (dawniej BSO) [34-37],
- podczas prac naprawczych szczególną uwagę należało zwrócić na konieczność wykonania obróbek blacharskich w poziomie szczytu ścian zbiornika, tak aby ograniczyć możliwość zalewania (zwilgocenia) materiału termoizolacyjnego w przypadku przelania się wody przez górną krawędź zbiornika,
- zaproponowany sposób naprawy należało traktować jako ***tymczasowy***, z uwagi na nie wyeliminowanie przyczyn powstających usterek i uszkodzeń a jedynie częściowe ograniczenie negatywnego wpływu (gradientu) temperatury i spowolnienie procesów destrukcyjnych.
- do czasu realizacji prac w ramach ***Etapu II***, a po wykonaniu prac ***Etapu I***, zalecono stałe monitorowanie stanu szczelności zbiornika. Wizualna kontrola szczelności możliwa była w

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

okienkach rewizyjnych wykonanych na ścianach w grubości materiału termoizolacyjnego tzn. arkusze izolacji termicznej we wskazanych miejscach nie zostały przymocowane do ścian zbiornika na stałe tylko zamocowane do ruchomych ramek, co umożliwiło okresową kontrolę zawilgocenia ścian i wnioskowanie o powstaniu nowych rys lub pęknięć i ich przeciekaniu,
- do czasu wykonania docelowego sposobu wzmocnienia zbiornika (realizacja prac ***Etapu II***) konieczne było stałe monitorowanie jego stanu technicznego. W tym celu konieczne było opracowanie szczegółowego *Programu monitorowania.*

Etap II (docelowy)
W celu ograniczenia (wyeliminowania) negatywnego wpływu temperatury zalecono montaż izolacji termicznej w zbiorniku od strony wewnętrznej. W tym celu konieczne będzie:
- tymczasowe wyłączenie zbiornika z użytkowania -w okresie planowanego postoju remontowego,
- opróżnienie zbiornika z wody,
- demontaż wewnętrznej wykładziny z płyt bazaltowych,
- wykonanie nowej warstwy izolacji termicznej,
- wykonanie wewnętrznego zbiornika ze stali nierdzewnej,
- ponowne włączenie zbiornika do użytkowania.

Zaproponowany sposób ograniczał (eliminował) negatywny wpływ temperatury na żelbetowe ściany istniejącego zbiornika X1. W trakcie montażu wewnętrznego, metalowego zbiornika należało zwrócić szczególną uwagę na sposób mocowania projektowanej izolacji termicznej do żelbetowych ścian oraz sposób zapewnienia współpracy wewnętrznego (stalowego) zbiornika ze zbiornikiem zewnętrznym (żelbetowym), ze szczególnym uwzględnieniem wpływu zmian temperatury na łączniki.

6. Wnioski

Analizowany zbiornik X1 został błędnie zaprojektowany. Żelbetowa konstrukcja zbiornika nie spełniała wymagań Stanu Granicznego Nośności (SGN) (Ultimate Limit State (ULS)) oraz Stanu Granicznego Użytkowania (SGU) (Serviceability Limit State (SLS)) z uwagi na dopuszczalne rozwarcie rys.

Bezpośrednią przyczyną przecieków wody przez ściany zbiornika X1 był błąd projektowy polegający na niedoszacowaniu (lub pominięciu w obliczeniach) wpływu zmian temperatury w trakcie eksploatacji na wytężenie ścian. W wyniku tego błędu nastąpiło intensywne zarysowanie wszystkich ścian zbiornika i ich rozszczelnienie niemal na całej powierzchni.

Wyniki przeprowadzonych sprawdzających obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wykazały, że dla zbiornika X1, w przypadku uwzględnienia negatywnego oddziaływania temperatury w wielu strefach istniał niedobór zbrojenia, a wbudowane zbrojenie ścian zbiornika było niewystarczające do przeniesienia rzeczywistych sił wewnętrznych występujących w tych ścianach. Usytuowanie stref wyznaczonych na podstwie przeprowadzonych obliczeń pokrywało się z miejscami występowania przecieków.

Z uwagi na brak szczelności zbiornik X1 wymagał naprawy, której przeprowadzenie zaproponowano w systemie ***Etapowym***.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Literatura

1. Substyk M.: Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych. Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012.
2. Baranowski W.: Zużycie obiektów budowlanych. Wydawnictwo Warszawskiego Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Ośrodek Szkolenia WACETOB sp. z o.o., Warszawa, 2000.
3. Baryłka A., Baryłka J.: Diagnostyka techniczna obiektu budowlanego. Budownictwo i Prawo, Warszawa, 19-22, 4, 2015.
4. Ściślewski Z. Trwałość konstrukcji żelbetowych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Buczkowski W., Czwójdziński Z., Staszewski R.: Wpływ nasłonecznienia na pracę statyczną konstrukcji skrzyniowych. Inżynieria i Budownictwo, 7-8, Warszawa, 1995.
5. Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T.: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011.
6. Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010.
7. Runkiewicz L., i inni: Vademecum Projektanta. Tom 1. Podstawy projektowania konstrukcji budowlanych. Praca zbiorowa. Oficyna Wydawnicza Polcen Sp. z o.o., Warszawa, 2016.
8. Kledyński Z., Ostromęcki R.: Uwarunkowania projektowe i technologiczne stanu zarysowania żelbetowego zbiornika wydzielonej komory fermentacyjnej. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2009, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
9. Łukacz M., Płachecki M.: Awaria dwukomorowego żelbetowego zbiornika spowodowana oddziaływaniami termicznymi. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2011, Szczecin-Międzyzdroje, 2011.
10. Godycki-Ćwirko T., Piotrowski P.: Żelbetowe zbiorniki oczyszczalni ścieków po 20 latach eksploatacji. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2011, Szczecin-Międzyzdroje, 2011.
11. Płachecki M., Koziński K.: Błędy projektowe i wady wykonawcze oraz projekt i realizacja wzmocnienia trójkomorowego żelbetowego zbiornika w oczyszczalni ścieków. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2011, Szczecin-Międzyzdroje, 2011.
12. Podolski B., Podolski M., Bartosik T.: Awaria oraz sposób wzmocnienia żelbetowego, wielokomorowego zbiornika oczyszczalni ścieków. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie budowlane-2009, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
13. Dyczkowski J., Kaźmierowski M.: Analiza odkształceń ścian prostokątnych żelbetowych zbiorników na ciecze z uwzględnieniem zbrojenia przeciwskurczowego. Materiały Budowlane, 9 (517), Warszawa, 2015.
14. Flaga K.: Skurcz betonu i jego wpływ na nośność, użytkowalność i trwałość konstrukcji żelbetowych i sprężonych. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, seria Inżynieria Lądowa, 73, Kraków, 2002.
15. Kiernożycki W.: Betonowe konstrukcje masywne. Teoria, wymiarowaniem, realizacja. Wydawnictwo Polski Cement, Kraków, 2003.
16. Godycki-Ćwirko T.: Morfologia rys w konstrukcjach z betonu. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok, 1982.
17. Jamroży Z.: Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

18. Halicka A., Franczak D.: Projektowanie zbiorników żelbetowych. Zbiorniki na ciecze. Tom 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2013.
19. Ziółko J.: Zbiorniki metalowe na ciecze i gazy. Wydawnictwo Arkady, 1970.
20. PN-EN 1990 *Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji.*
21. PN-EN 1991-1-1 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.*
22. PN-EN 1991-1-4 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki.*
23. PN-EN 1991-1-5 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne.*
24. PN-EN 1991-1-6 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 6: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji.*
25. Norma PN-EN 1992-1-1 *Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.*
26. Norma PN-EN 1992-3 *Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze.*
27. PN-EN 206-1:2003 *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.
28. PN-B-06250:2004 *Krajowe uzupełnienie normy PN-EN 206-1.*
29. PN-EN 13791 *Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.*
30. PN-EN 12504-1 *Badanie betonu w konstrukcjach. Część 1: Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.*
31. PN-EN 12504-2 *Badanie betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia.*
32. PN-EN 13670 *Wykonywanie konstrukcji betonowych.*
33. PN-EN 1504 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych.*
34. Instrukcja ITB nr 334/2002: Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa, 2002.
35. Instrukcja ITB nr 418/2006: Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, część C: Zabezpieczenia i izolacje, zeszyt 8: Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa, 2006.
36. Instrukcja ITB nr 447/2009: Złożone systemy ocieplania ścian zewnętrznych budynków (ETICS). Zasady projektowania i wykonywania. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa, 2009.
37. Instrukcja ITB: Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, część C: Zabezpieczenia i izolacje, zeszyt 8: Złożone systemy ocieplania ścian zewnętrznych budynków (ETICS) z zastosowaniem styropianu lub wełny mineralnej i wypraw tynkarskich. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa, 2019.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl