

Błędy projektowe przyczyną stanu awaryjnego żelbetowego zbiornika na koks

TOMASZ MAJEWSKI^{1,*}, MACIEJ NIEDOSTATKIEWICZ²

¹Szkoła Doktorska Wdrożeniowa, Politechnika Gdańska

²Katedra 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 bez wyłączenia zbiornika z użytkowania, w trakcie ciągłej pracy instalacji, z podziałem na etapy realizacji.

Słowa kluczowe: zbiornik żelbetowy, obciążenie temperaturą, błędy projektowe, rysy, pęknięcia, przecieki i nieszczelności, naprawa, wzmocnienie, iniekcja

1. Wstęp

Dokumentacja projektowa obiektu przemysłowego powinna uwzględniać wszystkie wymagania i ograniczenia technologiczne, które wystąpią lub mogą wystąpić w trakcie budowy, rozruchu i eksploatacji tego 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.

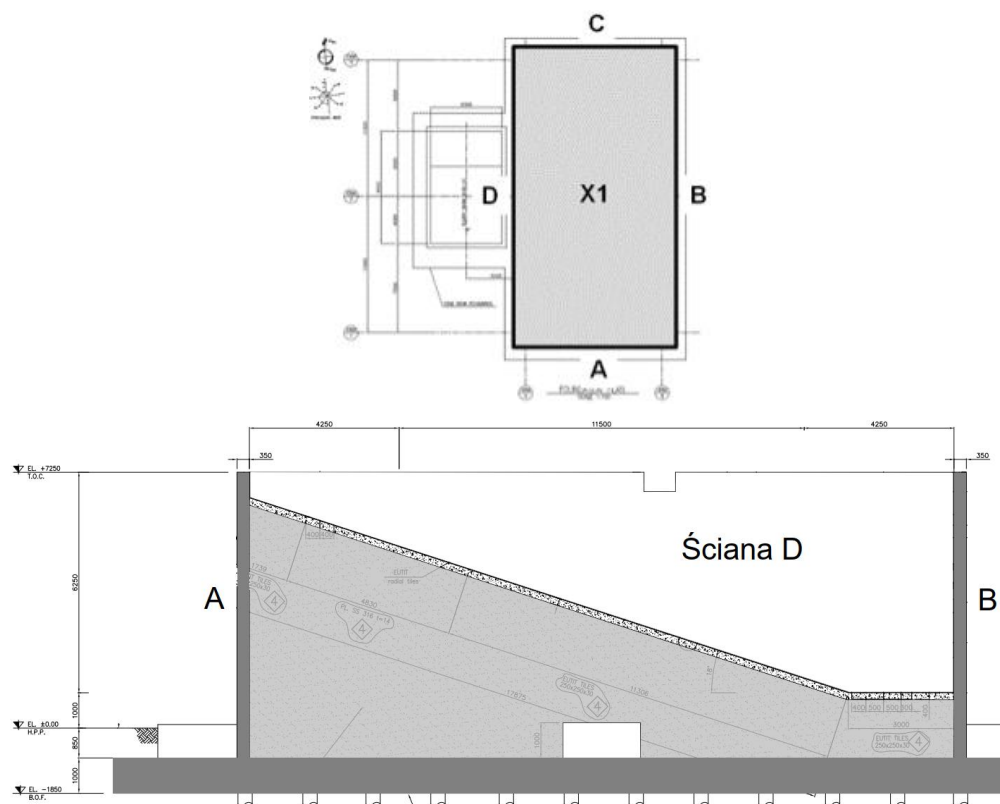
2. Dane ogólne

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,

*Autor do korespondencji: tomimaj@pg.edu.pl

maksymalna głębokość $H_1 = 7,25$ m, wysokość całkowita $H_2 = 8,1$ m (wysokość ścian od posadzki do górnej krawędzi). Głębokość zbiornika zmienia się na jego długości, dno nachylone jest w kierunku pomp zamontowanych na jednej ze ścian zewnętrznych. 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, wylane na mokro na miejscu. Ściany zaprojektowano i wykonano 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 zsypanne umożliwiające spływ gorącego koksu do pomp odprowadzających, zamontowanych na ścianie (rys. 1). Na wewnętrznych powierzchniach ścian i ramp zsypanych zamontowane były okładziny z płyt bazaltowych których zadaniem była ochrona betonu przed abrazją.



Rys. 1. Rzut i przekrój zbiornika żelbetowego X1: literami A, B, C oraz D – oznaczone są ściany analizowanego zbiornika, zbiornik sąsiedni X2 przyległy jest do ściany D.

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 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 aktywne przecieki w miejscach nienaprawianych. 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. W trakcie napełniania zbiornika koks był odpompowywany ze zbiornika razem z wodą, która po odfiltrowaniu ponownie trafiała do komory zbiornika. 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, w okresie dotychczasowej eksploatacji nie doszło do zamarznięcia wody w zbiorniku.



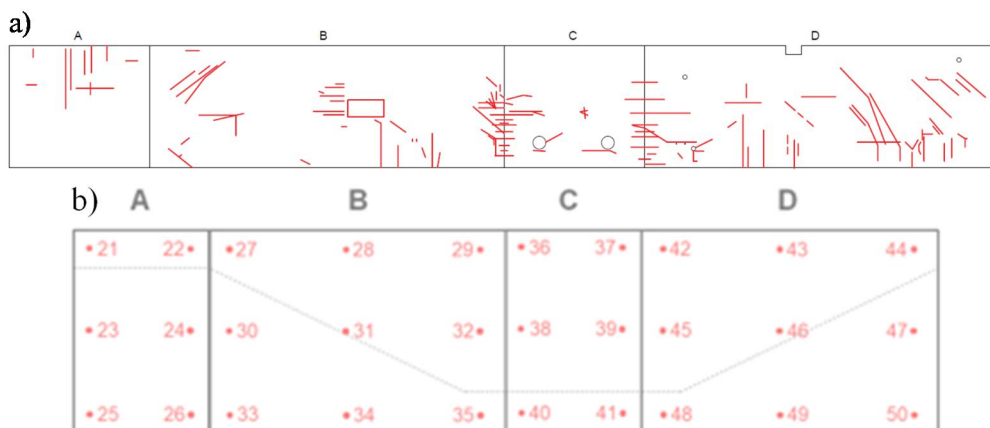
Rys. 2. Zbiornik X1 – rysy i pęknięcia: a), b) na ścianie wschodniej (B), c), d) w narożniku północno-wschodnim (C/B), e), f) w narożniku południowo-wschodnim (A/B).

3. Opis usterek i uszkodzeń zbiornika

W trakcie oględzin i pomiarów diagnostycznych stwierdzono:

- liczne rysy i pęknięcia na powierzchni ścian. Maksymalne pomierzone rozwarście rys wynosiło $\sim 0,8$ mm (na ścianie B), co jest znacznie większe od dopuszczalnej wartości $u_{lim} = 0,1$ mm,
- w miejscach rys i pęknięć widoczne były 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 0,3 mm.



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

4. Analiza stanu istniejącego zbiornika

Na podstawie wstępnej analizy morfologii rys wytypowano jako potencjalne źródło problemów negatywny wpływ temperatury. W trakcie pobytów na obiekcie wykonano pomiary temperatury betonu na zewnętrznej powierzchni ścian zbiornika w reprezentatywnych miejscach. Pomiary temperatury wykonano dwoma metodami: punktowo przy użyciu pirometru skalibrowanego klasycznym termometrem przykładanym do powierzchni zbiornika (przed zrzutem) oraz przy użyciu kamery termowizyjnej po zrzucie koksu. Wyniki pomiarów temperatury betonu różniły się w poszczególnych dniach i porach pomiarów, nie stwierdzono korelacji wyników między sobą. Na rys. 3b pokazano przykładowe wyniki pomiaru temperatury betonu, niedługo po zakończeniu zrzutu koksu, gdy możliwe było bezpieczne podejście do zbiornika. Procesowi zrzutu koksu do zbiornika towarzyszy intensywne parowanie i rozbryzgi gorącej wody (proces chłodzenia koksu jest silnie egzotermiczny), dlatego w okresie zrzutu zabronione jest przebywanie osób oraz sprzętu w sąsiedztwie instalacji.

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 zakończeniu zrzutu.

Temperatura otoczenia (powietrza) wynosiła odpowiednio:

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

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

Temperatura wody w zbiorniku X1 wynosiła odpowiednio:

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

Na podstawie informacji otrzymanych od Użytkownika ustalono, że pomierzona, maksymalna temperatura wody w zbiorniku nie przekroczyła 52°C w okresie jego eksploatacji – odczyt temperatury odprowadzanej wody rejestrowany przez czujnik zamontowany w pompie ssąco-tłoczącej zamontowanej na ścianie D zbiornika, taką też wartość temperatury wody przyjęto do obliczeń. Pomierzone temperatury betonu stanowiły dane wejściowe do wykonania sprawdzających obliczeń przeprowadzonych dla rzeczywistych warunków pracy analizowanego zbiornika żelbetowego.

Skanowanie zbrojenia

Badanie nieniszczące jakim jest skanowanie zbrojenia przeprowadzono z zastosowaniem detektora ferromagnetycznego. Ilość, rozstaw oraz średnica prętów zbrojenia wbudowanego w ściany zbiornika (przy zewnętrznej płaszczyźnie ściany) była zasadniczo zgodna z projektem, natomiast 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 [29] dla klasy wytrzymałości C40/50. W dokumentacji projektowej zbiornika przyjęto zastosowanie betonu klasy C30/37. Obliczenia wykonano dla obu klas betonu, natomiast w niniejszym artykule pokazano tylko wyniki tylko dla klasy C30/37, jak w stanie projektowanym.

Gęstość objętościowa betonu w pobranych rdzeniach wynosiła od 2,33 g/cm³ do 2,38 g/cm³, średnia 2,37 g/cm³.

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%,
- SO₄²⁻ – od 0,033 do 0,039%.

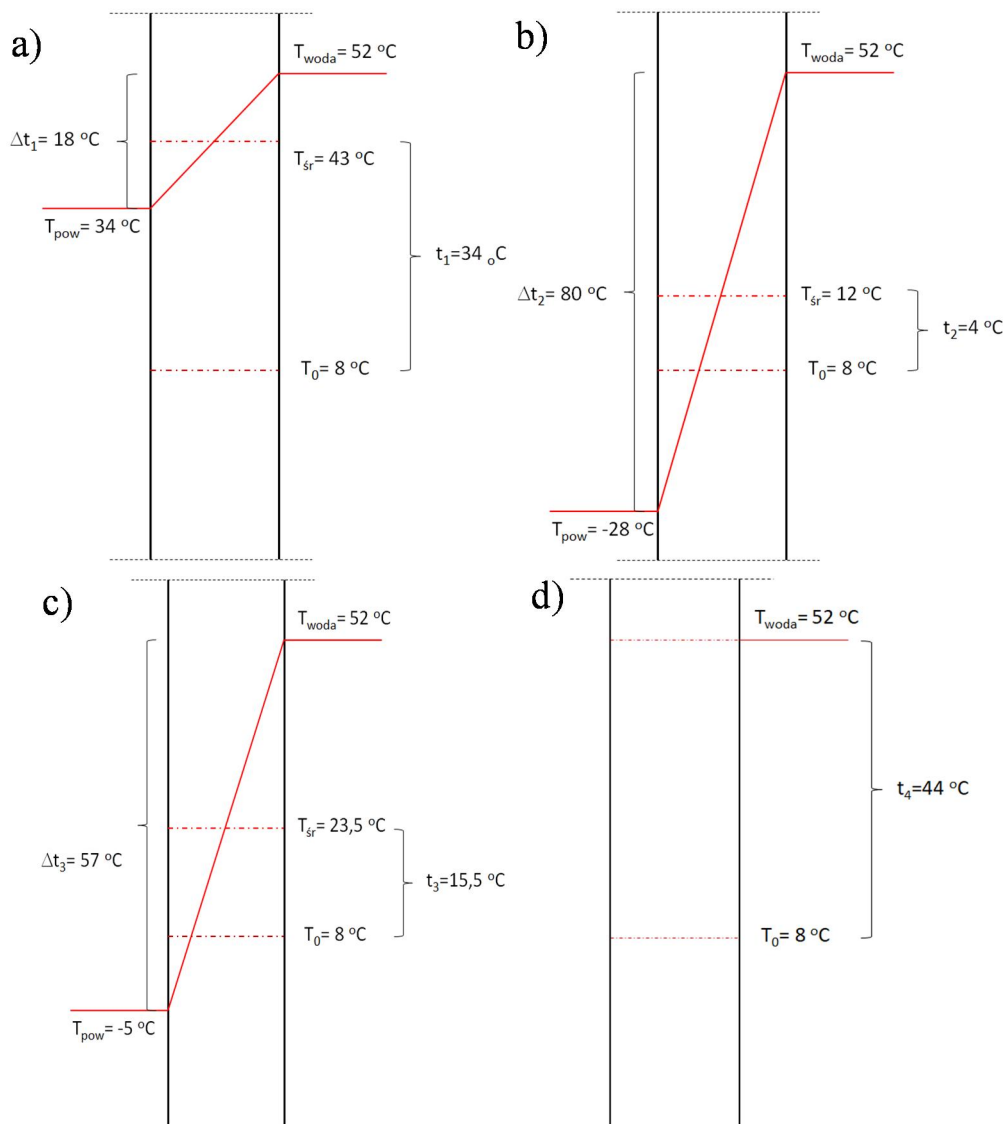
Odczyn pH betonu w pobranych próbkach wynosił od 11,8 pH do 12,1 pH, co oznaczało, że beton nie utracił naturalnej zdolności do ochrony zbrojenia przed korozją.

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

Na pobranych z konstrukcji rdzeniach nie wykonano oznaczenia wytrzymałości betonu na rozciąganie. Do obliczeń przyjęto wytrzymałość średnią betonu na rozciąganie określoną w normie [25] $f_{cm} = 2,9$ MPa.

Sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

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



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.

Do obliczeń przyjęto normowe parametry betonu jak dla klasy C30/37 oznaczonej na próbkach pobranych z obiektu, stali klasy AIII-N, 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 ($g = 1,35$),
- parcie hydrostatyczne wody ($g = 1,5$),
- obciążenie termiczne ($g = 1,5$) – jednorodnym polem temperatury oraz różnicą temperatury na grubości ścian, przykładanych na części powierzchni ścian mających kontakt z ciepłą wodą.

Powyższe obliczenia przeprowadzono dla przypadków:

- stan istniejący, analiza w okresie letnim, normowa temperatura powietrza:
 - $T_{pow} = 34^{\circ}\text{C}$, $T_{X1\ max} = 52^{\circ}\text{C}$,
- stan istniejący, analiza w okresie zimowym, normowa temperatura powietrza:
 - $T_{pow} = -28^{\circ}\text{C}$, $T_{X1\ max} = 52^{\circ}\text{C}$,
- stan istniejący, analiza w okresie zimowym, rzeczywista temperatura powietrza:
 - $T_{pow} = -5^{\circ}\text{C}$, $T_{X1\ max} = 52^{\circ}\text{C}$,
- stan projektowany – zbiornik ocieplony, analiza w okresie zimowym, normowa temperatura powietrza:
 - $T_{pow} = 34^{\circ}\text{C}$, $T_{X1\ max} = 52^{\circ}\text{C}$.

Z uwagi na zaobserwowane wycieki wody na całej wysokości ścian (również w strefach poniżej dna zbiorników w strefie wypełnionej betonem spadkowym), analizowano dwa warianty 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).

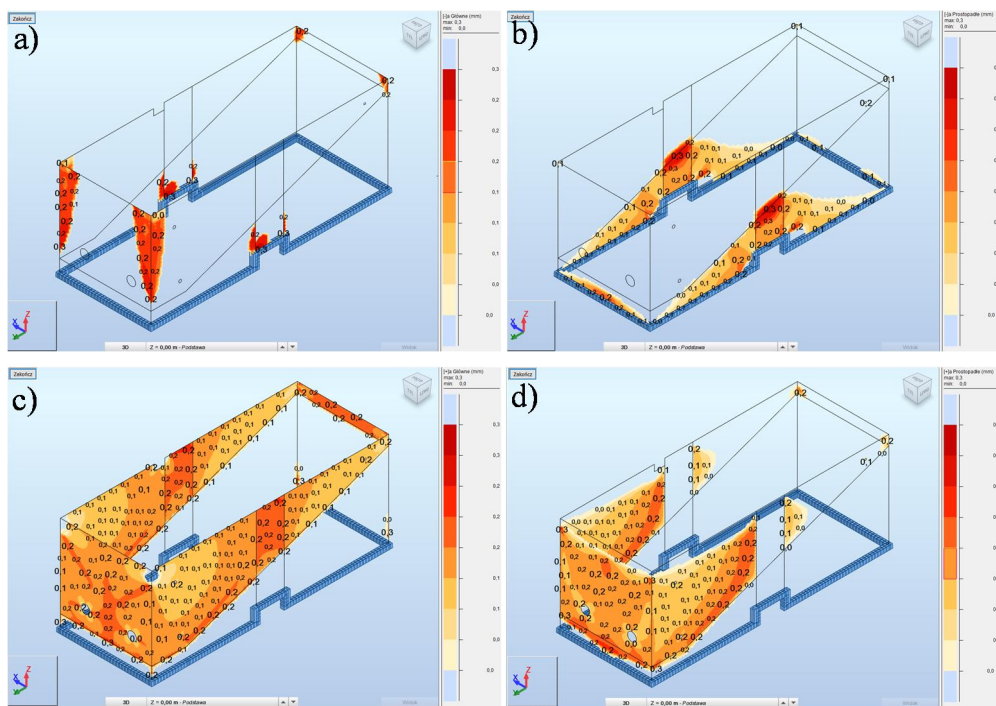
Obciążenie temperaturą (jednorodne pole temperatury jak również różnica temperatury na grubości ścian) przykładane było tylko do części powierzchni ścian – mających kontakt z ciepłą wodą.

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 ($\sim 10^{\circ}\text{C}$),
- w stanie istniejącym, w okresie letnim dla normowej wartości temperatury powietrza zbiornik spełniał wymagania normowe SGN (ULS) oraz SGU (SLS),
- w stanie istniejącym, w okresie zimowym dla normowej wartości temperatury powietrza zbiornik nie spełniał wymagań normowych SGN (ULS) oraz SGU (SLS),
- 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),
- po naprawie i ociepleniu, w okresie zimowym dla normowej wartości temperatury powietrza zbiornik będzie spełniał wymagania normowe SGN (ULS) i SGU (SLS),
- obszary „zarysowania” ścian zbiornika wyznaczone/obliczone dla analizowanych przypadków obciążenia pokazano na rys. 5,
- na podstawie wykonanych obliczeń rozwarcie rys oszacowano na $\sim 0,8$ mm, co jest znacznie większe od dopuszczalnej wartości $w_{lim} = 0,1$ mm.

Wyniki analizy stanu istniejącego oraz wyniki obliczeń sprawdzających potwierdziły wstępną tezę, że przyczyną usterek i uszkodzeń zbiornika X1, objawiających się przeciekami wody przez ściany 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: jednorodnego ogrzania jak również różnicy temperatury na grubości poszczególnych ścian, w procesie projektowania stanowiło bardzo 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 ich zmianą na grubości i wysokości ścian zbiornika były większe od średniej wytrzymałości betonu na rozciąganie (również dla betonu o wyższej niż założona w projekcie klasy C30/37). Wbudowane zbrojenie nie było w stanie zapewnić szczelności (z uwagi na dopuszczalną szerokość rozwarcia rys 0,1 mm), w konsekwencji czego na powierzchni ścian powstały skrośne pęknięcia betonu, przez które wyciekała woda.



Rys. 5. Mapy obszarów występowania rys na powierzchniach ścian zbiornika X1: a) rysy „pionowe” od środka, b) rysy „poziome” od środka, c) rysy „pionowe” od zewnątrz, d) rysy „poziome” od zewnątrz.

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,
- 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 całą powierzchnię ścian wysokoelastycznej membrany polimerowo-epoksydowej,
- ocieplenie ścian na całą wysokość 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 (różnicy na grubości ścian) 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 będzie w okienkach rewizyjnych wykonanych na ścianach w grubości materiału termoizolacyjnego tzn. arkusze izolacji termicznej we wskazanych miejscach nie zostaną przymocowane do ścian zbiornika na stałe tylko zamocowane do ruchomych ramek, co umożliwi 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 ogranicza (eliminuje) negatywny wpływ temperatury na żelbetowe ściany istniejącego zbiornika X1. W trakcie montażu wewnętrznego, metalowego zbiornika należy 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 mógłby być bezpiecznie eksploatowany w przypadku magazynowania w nim tzw. wody zimnej ($T = 10^{\circ}\text{C}$), co potwierdziły przeprowadzone z powodzeniem próby wodne przed jego włączeniem do instalacji. Niestety z uwagi na niewystarczającą ilość zbrojenia ścian, w zbiorniku nie można było magazynować ciepłej wody o temperaturze pomierzonej na obiekcie ($T = 52^{\circ}\text{C}$), jak również temperaturze założonej w projekcie ($T = 70^{\circ}\text{C}$).

Bezpośrednią przyczyną przecieków wody przez ściany opisanego zbiornika X1 był błąd projektowy polegający na niedoszacowaniu lub pominięciu w obliczeniach wpływu temperatury magazynowanej wody na wyężenie jego ścian. 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 rozwarście rys.

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

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. Ścisławski Z. Trwałość konstrukcji żelbetowych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Buczkowski W., Czwojdzński 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., Ostromecki R.: Uwarunkowania projektowe i technologiczne stanu zarysowania żelbetowego zbiornika wydzielonej komory fermentacyjnej. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
9. Łukacz M., Płachecki M.: Awaria dwukomorowego żelbetowego zbiornika spowodowana oddziaływaniami termicznymi. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje, 2011.
10. Godycki-Ćwirko T., Piotrowski P.: Żelbetowe zbiorniki oczyszczalni ścieków po 20 latach eksploatacji. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje, 2011.
11. Płachecki M., Kozłowski K.: Błędy projektowe i wady wykonawcze oraz projekt i realizacja wzmocnienia trójkomorowego żelbetowego zbiornika w oczyszczalni ścieków. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje, 2011.
12. Podolski B., Podolski M., Bartosik T.: Awaria oraz sposób wzmocnienia żelbetowego, wielokomorowego zbiornika oczyszczalni ścieków. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne budowlane, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
13. Dyczkowski J., Kaźmierowski M.: Analiza odkształceń ścian prostokątnych żelbetowych zbiorników na cieczy z uwzględnieniem zbrojenia przeciwskurczowego. Materiały Budowlane, 9 (517), Warszawa, 2015.
14. Flaga K.: Skurcz betonu i jego wpływ na nośność, użyteczność 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. Jamróży Z.: Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
18. Halicka A., Franczak D.: Projektowanie zbiorników żelbetonowych. 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.

Design errors cause an emergency of the reinforced concrete tank for coke

Key words: reinforced concrete tank, design errors, scratches, cracks, repair, reinforcement, injection