



MARIAN PŁACHECKI, *emplacheccy@neostrada.pl*

Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Jarosławiu

KRZYSZTOF KOZIŃSKI, *kkozinsk@pk.edu.pl*

Politechnika Krakowska

## **BŁĘDY PROJEKTOWE I WADY WYKONAWCZE ORAZ PROJEKT I REALIZACJA WZMOCNIENIA TRÓJKOMOROWEGO ŻELBETOWEGO ZBIORNIKA W OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

### **DESIGN ERRORS AND EXECUTION DEFECTS AS WELL AS DESIGN AND REALIZATION OF STRENGTHENING OF THREE-CELL REINFORCED CONCRETE TANK IN SEWAGE-TREATMENT PLANT**

**Streszczenie** W referacie przedstawiono analizę przyczyn wystąpienia uszkodzeń oraz zastosowaną metodę wzmocnienia trójkomorowego, żelbetowego zbiornika w fazie projektowej i w trakcie realizacji. Wskutek rażących błędów w ustaleniu obciążeń i w przyjęciu modelu obliczeniowego zastosowano zbrojenie niespełniające podstawowych wymagań normowych i zasad projektowania zbiorników na ciecze. Błędy projektowe zostały spotęgowane w trakcie budowy wadami wykonawstwa – w konsekwencji wystąpiły zarysowania ścian zbiornika. Próby iniekcji rys nie zapewniły szczelności i nie zostały zaakceptowane przez inwestora jako docelowa naprawa zbiornika.

**Abstract** In the paper there is presented the analysis for causes of defects occurred as well as applied method for strengthening the three-cell reinforced concrete tank in design phase and while executing. Due to serious mistakes made in load determination and assumed calculation model there was applied the reinforcement that does not satisfy the basic codes requirements and rules for design tanks for liquids. Design errors were intensified by execution defects made while constructing the object, which resulted in cracks in tank walls. Trials of cracks injection did not assured the structure tightness and were not accepted by investor as a final repair method.

#### **1. Wstęp**

Budowa sieci kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków jest jednym z priorytetów inwestycyjnych, realizowanych przez samorządy gminne i powiatowe na terenie całej Polski. Przy stosowaniu technologii biologicznego oczyszczania ścieków często realizowane są otwarte wielokomorowe żelbetowe zbiorniki. Stosowane przez inwestorów zasady „zaprojektuj i wybuduj” oraz kryterium najniższej ceny stwarzają ryzyko wyboru generalnego wykonawcy nieposiadającego niezbędnych doświadczeń przy realizacji tego typu obiektów, tak w zakresie projektowania jak i wykonawstwa.

Przedstawiony w referacie przypadek jest dobitnym przykładem i jednocześnie przestrożą przed takim sposobem realizacji zbiorników w oczyszczalniach ścieków.

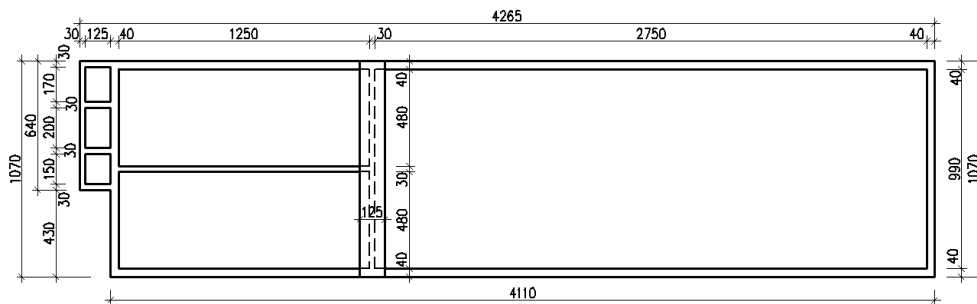
## 2. Opis konstrukcji zbiornika

Monolityczny trzykomorowy zbiornik w oczyszczalni ścieków zaprojektowano z betonu klasy B25, zbrojonego prętami ze stali AIII 34GS. Przyjęto grubość płyty fundamentowej i ścian zewnętrznych równą 40 cm, a ściany wewnętrzne zaprojektowano o grubości 30 cm. Po wykonaniu płyty fundamentowej i przeprowadzeniu badań betonu okazało się, że klasa betonu wynosi B15 zamiast projektowanej B25. W związku z zaistniałą sytuacją, na starej płycie dennej wykonano nową o grubości 30 cm.

Ściany zbiornika od strony wewnętrznej i zewnętrznej zbrojone są siatką w kierunku równoleżnikowym i południkowym złożoną z prętów  $\phi$  14 co 30 cm. Zbrojenie południkowe w dolnej części ściany (w miejscu połączenia z płytą fundamentową) jest zagęszczone i wynosi  $\phi$  14 co 15 cm.

Całkowite wymiary zewnętrzne zbiornika wynoszą 10,70×42,65 m (rys. 1), a wysokość jest równa 4,15 m – liczona od górnej powierzchni płyty dennej. Zbiornik składa się z trzech komór: głównej o wymiarach wewnętrznych 9,90×27,50 m oraz dwóch mniejszych o wymiarach wewnętrznych 4,80×12,50 m. Ściana poprzeczna wewnętrzna zwieńczona jest podestem o szerokości 1,25 m i grubości 20 cm, z barierkami i schodami ze stali nierdzewnej.

Zbiornik jest częściowo zagłębiony w gruncie i dodatkowo obsypany gruntem. Odslonięta część ściany sięga 1,15 m ponad poziom skarpy, a pozostała część ściany jest zagłębiona w gruncie.



Rys. 1. Schemat konstrukcji zbiornika – widok z góry

## 3. Prace naprawcze przy rozruchu zbiornika

Już w trakcie przekazywania zbiornika do użytkowania wystąpiły zarysowania i przecieki, widoczne na zewnętrznej powierzchni ścian. Stwierdzono zarysowania pionowe o rozwarości 0,6÷1,0 mm, lokalnie nawet do 1,5 mm. Zastosowana iniekcja rys kompozycjami żywicznymi umożliwiła przekazanie zbiornika do eksploatacji, nie zlikwidowała jednak przyczyn zarysowania ścian zbiornika. Po trzech latach użytkowania – przed upływem okresu gwarancyjnego – ponownie przystąpiono do likwidacji przecieków przy zastosowaniu technologii iniekcji ciśnieniowej żywicami poliuretanowymi, przy „czynnym” zbiorniku, wypełnionym ściekami. W kolejnym roku użytkowania zbiornika pojawiły się przecieki w istniejących rysach, wypełnionych iniektem. Powstały także nowe rysy w zewnętrznych ścianach zbiornika. Wobec nieskutecznych napraw Inwestor, wsparty specjalistyczną ekspercją [1], wystąpił na drogę sądową w celu wyegzekwowania odszkodowania od Generalnego Wykonawcy.

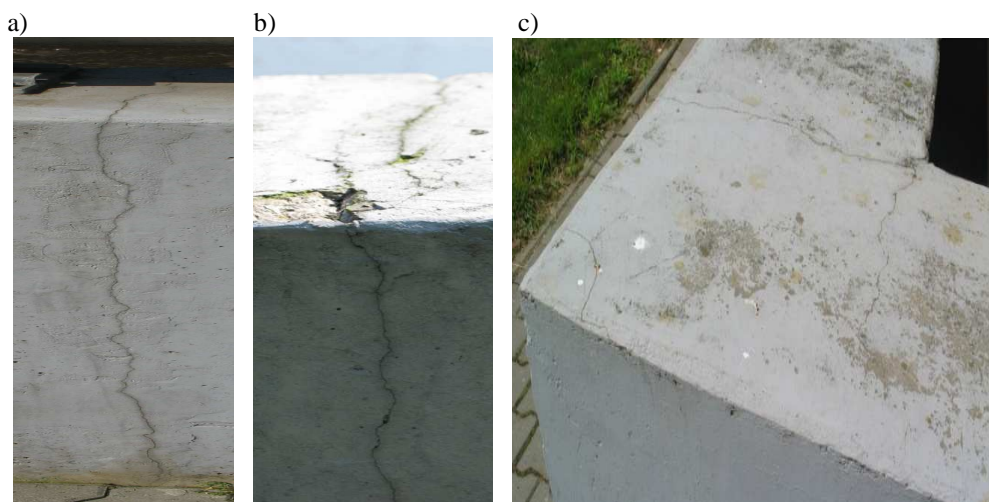
Autorzy referatu podjęli prace badawcze, projektowe i nadzór autorski nad realizacją wzmocnienia wadliwie zrealizowanego zbiornika po upływie siedmiu lat od jego rozruchu.

## 4. Wyniki własnych badań stanu technicznego zbiornika

### 4.1 Zarysowania ścian zbiornika

W ścianach zbiornika na ich zewnętrznej powierzchni występowały rysy pionowe o zróżnicowanej rozwarości, od około 0,2 mm do około 1,5 mm, nierównomiernie rozstawione na długości ścian. Zgodnie ze znaną prawidłowością, rysy o mniejszym rozstawie od ok. 0,5÷1,5 m miały mniejszą rozwarość, ok. 0,6÷0,7 mm. W strefach o większej odległości pomiędzy rysami pionowymi rozwarość rys była większa, lokalnie na górnej powierzchni ścian dochodziła do około 1,0÷1,5 mm (rys. 2a i 2b). Rysy pionowe wnikały do dolnej strefy ścian, poniżej opaski wyłożonej kostką brukową. Rozwarość rys w górnej części ścian była większa i zmniejszała się w kierunku dna zbiornika.

Rysy pionowe przy narożach zbiornika przechodziły w rysy ukośne – ich rozwarość była znacznie mniejsza. Oceniono je na około 0,1÷0,2 mm.



Rys. 2. Zarysowania pionowe ścian (a, b) i rysy w narożu zbiornika (c)

W narożach komór, na górnej powierzchni ścian, występowały rysy prostopadłe i ukośne, o rozwarości 0,1÷0,5 mm. Rysy te nie miały ciągłości na ścianach pionowych (rys. 2 c).

### 4.2 Uszkodzenia betonu na górnej powierzchni ścian zbiornika

Na górnej powierzchni ścian zbiornika stwierdzono lokalne wgłębne ubytki betonu. Występowały one w strefach pierwotnego zarysowania ścian, jako następstwo destrukcji wywołanej prawdopodobnie zamarzaniem w okresie zimowym oraz oddziaływaniami czynników korozyjnych (rys. 3). Lokalnie beton na górnej powierzchni ścian był złuszczonej, odspojona warstwa odsłaniała strukturę betonu bez kruszywa, jako następstwo sedymentacji w trakcie betonowania ścian.

W płycie pomostu zbiornika występowały zaawansowane uszkodzenia korozyjne betonu, powierzchniowe i wgłębne. W narożach pomostu, w sąsiedztwie ścian, pojawiły się zarysowania analogiczne do zarysowania ścian w narożach komór.



Rys. 3. Zarysowania górnej powierzchni ścian zbiornika

### 4.3 Inne wady konstrukcji zbiornika

Stwierdzono ponadto:

- ponowne zarysowania ścian w strefie wykonanej już iniekcji. Rozwartość tych rys była trudna do ustalenia ze względu na występowanie śladów starych pionowych wycieków,
- lokalnie pozostawione drewniane kołki dystansowe w ścianach zbiornika,
- dużą ilość przypowierzchniowych pustek na zewnętrznej powierzchni ścian zbiornika nad poziomem terenu – w nich tworzyły się początkowe fazy pleśni i grzybów.

## 5. Przyczyny uszkodzeń konstrukcji zbiornika

Zbrojenie ścian zbiornika nie spełniało podstawowych standardów i wymagań normowych dla żelbetowych zbiorników na cieczę, od których wymagana jest szczelność, jako podstawowe kryterium trwałości. Było to następstwem przyjęcia uproszczonych schematów statycznych i pominięciem sił osiowych w ścianach zbiornika, nie odzworowujących rzeczywistej ich pracy oraz całkowite zaniedbanie oddziaływań termicznych.

Próba szczelności zbiornika została przeprowadzona po okresie około 1 miesiąca od zabetonowania ścian, a więc w czasie, gdy nadal narastały odkształcenia skurczowe betonu. Po przeprowadzeniu próby szczelności, w okresie jesiennym 2001 roku na ścianach zbiornika wykonano izolację przeciwwodną, obsypano je gruntem i pozostawiono zbiornik bez napełnienia na okres zimowy. W kwietniu następnego roku napełniono zbiornik ściekami i przekazano do eksploatacji. Zaobserwowane zarysowania wypełniono iniekcją. Oddziaływania termiczne w pustym zbiorniku w okresie zimowym, łącznie z odkształceniami skurczowymi betonu doprowadziły do powstania zarysowań, które ujawniły się i rozwinęły po napełnieniu komór zbiornika ściekami.

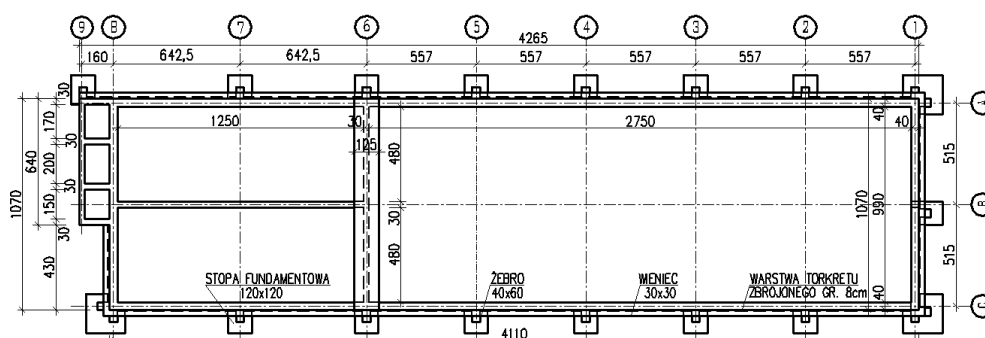
Po ponownym wykonaniu uszczelnień techniką iniekcji ciśnieniowej, po trzech latach użytkowania zbiornika, pojawiły się ślady nowych przecieków w rysach pierwotnych i nowopowstałych – przy niezmiennych obciążeniach stałych, wywołanych parciem ścieków i gruntu. Odkształcenia skurczowe betonu, po upływie czterech lat od zabetonowania ścian zbiornika, praktycznie uległy już stabilizacji. Zmiennym obciążeniem było obciążenie termiczne w okresie lata i zimy, a zwłaszcza w okresie zimy.

## 6. Analiza statyczno-wytrzymałościowa zastosowanego wzmocnienia

### 6.1 Koncepcja wzmocnienia zbiornika i zakres analizy

Ze względów eksploatacyjnych wykluczone zostało przez Inwestora wyłączenie i opróżnienie zbiornika, co uniemożliwiło naprawę z zastosowaniem szczelnej wanny [2]. Wychoząc z założenia wykonania wzmocnień i naprawy przy „czynnym” zbiorniku, po analizie istniejących uszkodzeń oraz przyczyn ich powstania, a także opierając się na własnych wieloletnich doświadczeniach przy badaniach i wzmocnieniach innych zbiorników na cieczę [4], przyjęto następującą koncepcję przywrócenia wymaganej szczelności i trwałości:

- zmiana schematu statycznego istniejącego zbiornika przez wykonanie poziomego wieńca w płaszczyźnie górnej krawędzi ścian oraz wykonanie żeber pionowych, usztywniających ściany zewnętrzne zbiornika,
- zminimalizowanie wpływu obciążeń termicznych przez wykonanie izolacji termicznej na zewnętrznej powierzchni ścian,
- wzmocnienie ścian zewnętrznych zbiornika przez wykonanie zbrojonego torkretu na całej ich wysokości, w polach między wieńcem górnym i uźebrowaniem pionowym. Przewidziano zespolenie warstwy torkretu zbrojonego z istniejącym podłożem betonowym ścian.



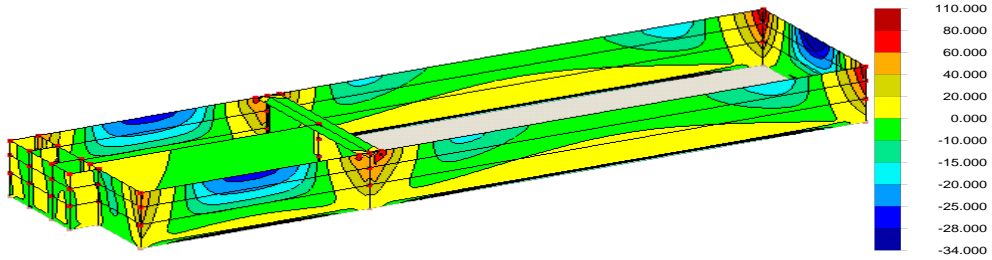
Rys. 4. Schemat konstrukcji zbiornika po wzmocnieniu – widok z góry

Analiza statyczno-wytrzymałościowa zbiornika została wykonana dla dwóch podstawowych faz:

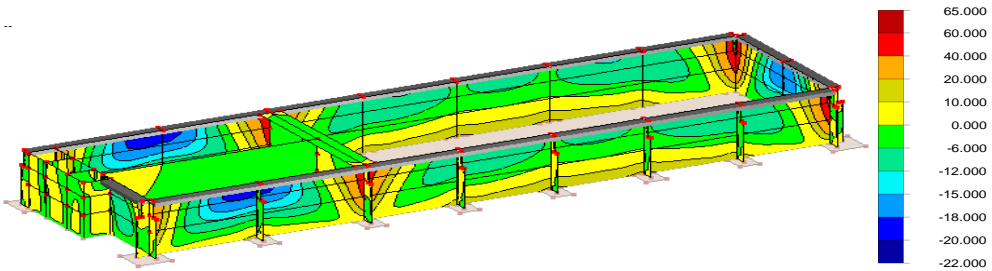
- w stanie istniejącym (z pominięciem zaistniałego już wpływu skurczu betonu),
- w stanie projektowanego wzmocnienia.

Uwzględniono następujące obciążenia: ciężar własny konstrukcji, parcie cieczy, parcie gruntu i obciążenia termiczne dla pory lata i zimy. Zaniebano obciążenie skurczem betonu z uwagi na wiek zbiornika (około 8 lat) i relaksację naprężeń wywołanych jego wpływem.

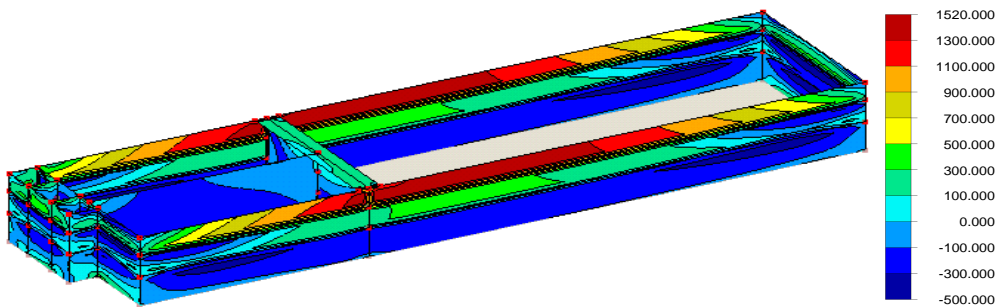
Na rys. 5 przedstawiono mapę równoleżnikowych momentów zginających w zbiorniku przed wzmocnieniem, a na rys. 6 po wzmocnieniu dla kombinacji obciążeń uwzględniających: ciężar własny konstrukcji, parcie cieczy i parcie gruntu. Widoczna jest tu znaczna redukcja momentów podporowych i przęsłowych związana ze zmianą schematu statycznego. Rys. 7 i 8 przedstawiają odpowiednio: rozkład równoleżnikowych sił podłużnych i momentów zginających w zbiorniku przed wzmocnieniem, od obciążeń termicznych dla pory zimowej. Po ociepleniu zbiornika warstwą styroduru o grubości 10 cm, siły wewnętrzne od obciążeń termicznych zostały prawie w całości wyeliminowane.



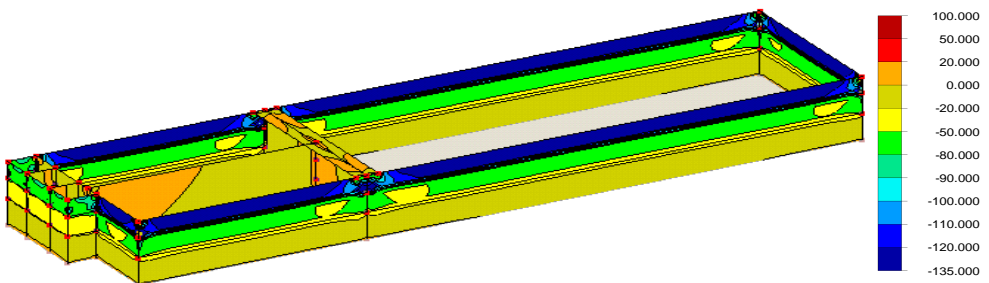
Rys. 5. Mapa równoleżnikowych momentów zginających  $M_x$  [kNm] – (ciężar własny + parcie cieczy + parcie gruntu), zbiornik przed wzmocnieniem



Rys. 6. Mapa równoleżnikowych momentów zginających  $M_x$  [kNm] – (ciężar własny + parcie cieczy + parcie gruntu), zbiornik wzmocniony



Rys. 7. Mapa sił podłużnych  $N_x$  [kN] – (obciążenie różnicą temperatur pomiędzy: temperaturą średnią przegrody a temperaturą scalenia – dla pory zimowej), zbiornik przed wzmocnieniem



Rys. 8. Mapa równoleżnikowych momentów zginających  $M_x$  [kNm] – (obciążenie gradientem temperatury dla pory zimowej), zbiornik przed wzmocnieniem

## 6.2 Wnioski z analizy statyczno-wytrzymałościowej

Na podstawie przeprowadzonej analizy statyczno-wytrzymałościowej zbiornika w stanie istniejącym i po wzmocnieniu wyciągnięto następujące wnioski:

- zbiornik w stanie istniejącym, napełniony ściekami, obsypany gruntem i poddany działaniu obciążeń termicznych, w południkowych płaszczyznach ścian spełnia wymagania z uwagi na stan graniczny nośności, natomiast nie spełnia wymagań z uwagi na dopuszczalne rozwarście rys w dolnej części ścian, powyżej dna. Rozwarście rys oszacowano na około 0,4 mm, co jest znacznie większe od dopuszczalnej wartości  $w_{lim} = 0,1$  mm wg [5]. W płaszczyznach równoleżnikowych zbrojenie nie spełnia warunku zbrojenia minimalnego, dla elementu mimośrodowo rozciąganego. W przekrojach potraktowanych jako betonowe nie spełniony jest zarówno stan graniczny nośności jak i zarysowania. Uzasadnia to występujące zarysowania ścian w płaszczyznach pionowych,
- w ścianach zbiornika po wzmocnieniu zminimalizowane zostały praktycznie w całości wpływy oddziaływań termicznych. Dla kombinacji obciążeń odpowiadających pracy zbiornika w stanie normalnej eksploatacji znacznie zostały zredukowane uogólnione siły wewnętrzne. W obliczeniach wykazano spełnienie wymagań normowych zarówno w płaszczyznach południkowych jak i równoleżnikowych – tak dla stanu granicznego nośności jak i użyteczności. Występujące siły wewnętrzne od obciążeń charakterystycznych nie przekraczają sił rysujących w poszczególnych przekrojach. Dotyczy to przekrojów pracujących w dotychczasowym stanie zbiornika jako niezarysowane. Zastosowane wzmocnienie nie eliminuje istniejących zarysowań, można jednak się spodziewać, że szerokość rozwarścia rys – w szczególności o małych rozwarściach – ulegnie zmniejszeniu. W wytycznych wzmocnienia i naprawy zbiornika przewidziano również wykonanie iniekcji istniejących rys w zewnętrznych ścianach zbiornika,
- obliczenia potwierdziły statyczno-wytrzymałościową zasadność zastosowanego wzmocnienia konstrukcji zbiornika.

## 7. Realizacja wzmocnienia zbiornika

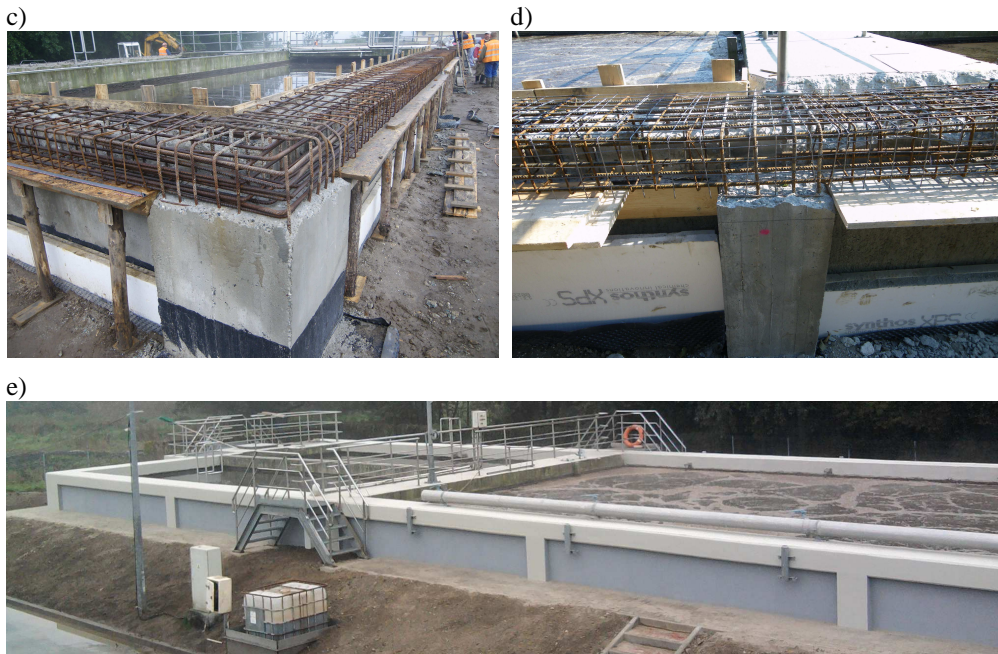
Wzmocnienie zbiornika wykonano ściśle wg projektu wykonawczego, opracowanego przez autorów referatu. Poniżej przedstawiono poszczególne fazy robót budowlanych przy wzmocnieniu zbiornika. W pierwszej kolejności wykonano żebra pionowe, następnie wzmocniono ściany pomiędzy żebrami w co drugim polu, nie dopuszczając do odsłonięcia poszczególnych ścian na całej ich długości. W końcowej fazie wykonano poziomy wieniec usztywniający. Wszystkie prace wykonano w 2010 roku, przy „czynnym” zbiorniku.

a)



b)





Rys. 9. Wybrane fazy realizacji wzmocnienie zbiornika: a) zbrojenie żeber, b) torkretowanie ścian, c) i d) zbrojenie wieńca obwodowego, e) widok ogólny zbiornika po wzmocnieniu

## 8. Podsumowanie

Przedstawiony w referacie przypadek wadliwie zaprojektowanego i wykonanego zbiornika w oczyszczalni ścieków nie jest odosobniony. Mimo postępu technologicznego w metodach projektowania i wykonawstwa, występowaniu tego typu błędów w realizacji inwestycji sprzyja stosowanie przez inwestorów zasady „zaprojektuj i wybuduj” oraz najniższej ceny jako istotnego kryterium przy wyborze generalnego wykonawcy.

## Literatura

1. Abramek W, Jędraszak B, Kałuża R.: Analiza przyczyn zarysowania trzykomorowego żelbetowego zbiornika oczyszczalni ścieków, *Przegląd Budowlany*, nr 4/2010.
2. Ajdukiewicz A, Kliszczewicz A, Węglorz M.: Awaria zbiornika na ścieki przemysłowe i metoda szybkiej naprawy, XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje 2003.
3. Buczkowski W.: Obciążenie temperaturą zbiorników prostopadłościennych zagłębionych w gruncie, *Inżynieria i Budownictwo*, nr 12/1993.
4. Dyduch K, Płachecki M.: Błędy projektowe i wykonawcze w żelbetowych zbiornikach na ciecze i ścieki, XII Konferencja Naukowo-Techniczna „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze”, Kraków 2003.
5. PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.