

Analiza przyczyn zarysowania trzykomorowego żelbetowego zbiornika oczyszczalni ścieków

Dr inż. Wiktor Abramek, dr inż. Bronisław Jędraszak, dr inż. Reinhold Kałuża,
Politechnika Opolska

1. Wprowadzenie

Przedmiotem artykułu jest analiza błędów popełnionych przy projektowaniu prostokątnego, monolitycznego, trzykomorowego zbiornika oczyszczalni ścieków (rys. 1). Projektowanie zbrojenia ścian tylko



Rys. 1. Widok zbiornika

na obciążenia eksploatacyjne i pomijanie wpływu skurczu betonu [1], temperatury [2] i przestrzennej pracy konstrukcji [3] jest często główną przyczyną uszkodzeń zbiorników.

2. Charakterystyka obiektu

Analizowany zbiornik zaprojektowano z betonu klasy B25 (cement hutniczy, wskaźnik $w/c < 0,5$, kruszywo o minerałach kwarcowych, dodatki uszlachetniające) i zazbrojono prętami ze stali klasy A-III, gatunku 34GS.

Wymiary zewnętrzne rzutu poziomego zbiornika wynoszą $10,70 \times 41,50$ m, a wysokość ścian, liczona od górnej powierzchni płyty fundamentowej dennej, wynosi $4,15$ m. Zbiornik jest podzielony na trzy komory: komorę główną o wymiarach wewnętrznych

$9,90 \times 27,90$ m i dwie komory mniejsze o wymiarach wewnętrznych $4,80 \times 12,50$ m (rys. 2).

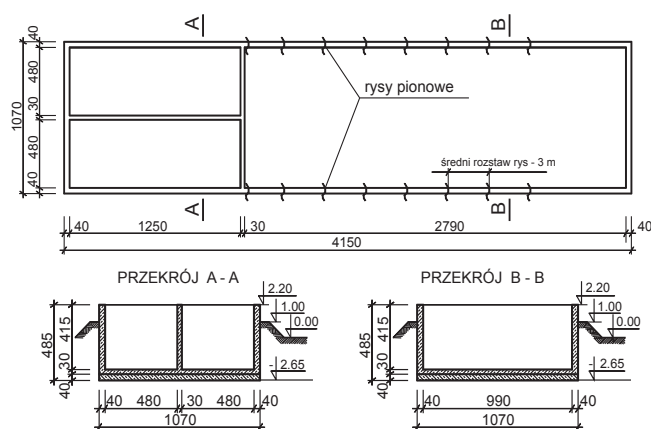
Poziom ścieków we wszystkich komorach jest identyczny, ponieważ komory są połączone.

Zbiornik jest częściowo zagłębiony w gruncie i dodatkowo obsypany gruntem. Górna krawędź ścian zbiornika jest około $1,20$ m powyżej poziomu nasypu utworzonego wokół zbiornika. Wysokość nasypu wynosi około $1,00$ m. Górna powierzchnia płyty dennej znajduje się około $2,00$ m poniżej poziomu terenu. Grubość ścian zewnętrznych zbiornika wynosi 40 cm, a ścian wewnętrznych wydzielających komory 30 cm. Ściany zbiornika są zbrojone obustronnie. Pręty $\varnothing 14$ są rozstawione co 30 cm poziomo i pionowo, co stanowi stopień zbrojenia $0,128$ %, po każdej stronie ściany.

Dodatkowo w pobliżu płyty dennej zaprojektowano pręty pionowe $\varnothing 14$ co 30 cm, wyprowadzone z płyty dennej na wysokość około $1,20$ m.

Nad ścianą wewnętrzną poprzeczną wykonano żelbetową płytę podestową o szerokości 125 cm.

Płytę denną o grubości 40 cm wykonano z betonu o założonej klasie (klasa B15 zamiast projektowanej B25).



Rys. 2. Rzut i przekrój zbiornika oraz lokalizacja rys pionowych

W związku z tym, na wadliwej płycie wykonano nową płytę żelbetową o grubości 30 cm i cały zbiornik z betonu klasy B37 (C30/37).

Budowę zbiornika realizowano w okresie od marca do lipca 2001 roku. Po próbnym napełnieniu zbiornik opróżniono w sierpniu i dopiero w kwietniu 2002 roku rozpoczęto eksploatację.

3. Opis stanu technicznego

Po rozpoczęciu użytkowania zauważono zarysowanie ścian zbiornika. Mikrorysy na powierzchni ścian są co około 30 cm, tak jak rozstaw prętów zbrojenia pionowego. Pęknięcia ścian podłużnych zbiornika występują w rozstawie około 3 metrów, pomiędzy 13,0 m a 35,0 m (rys. 2) oraz w strefie połączenia dużej komory zbiornika z małymi. Pęknięcia na całej grubości ściany mają w części górnej ścian rozwarście około 0,6 mm. Z odkrywki wykonanej w połowie długości ściany podłużnej wynika, że pęknięcie przechodzi niżej w rysę i sięga do głębokości około 2,50 m.



Rys. 3. Pęknięcie w części górnej ściany podłużnej

Próby iniekcji rys materiałami żywicznymi nie dały pozytywnego rezultatu (rys. 3). W miarę upływu czasu rysy powiększają się i powstają zacieki.

4. Analiza wpływu skurczu i temperatury na stan techniczny zbiornika

Przypowierzchniowa strefa ściany zbiornika narażona jest na rozciągające naprężenia skurczowe. Głębokość tej strefy, według K. Flagi [4], w przypadku ściany zbiornika stanowiącej konstrukcję o średniej masywności, wynosi 0,185 grubości ściany. W analizowanym przypadku stopień zbrojenia przypowierzchniowego ρ_{ss} w odniesieniu do strefy przypowierzchniowej wynosi 0,69%.

Według H. Rüscha i D. Jungwirtha [5], spełnienie warunku dopuszczalnej szerokości rozwarścia rysy $w_k \leq w_{lim}$ wymaga zastosowania prętów zbrojenia o średnicy ϕ_s spełniającej warunek:

$$\phi_s \leq \frac{3\tau_1 w_{lim} E_s}{f_{yk}^2} \quad (3.1)$$

w którym, w przypadku prętów zabetonowanych w pozycji poziomej, przyczepność betonu do stali zbrojeniowej $\tau_1 = 0,15f_{cm}$.

W analizowanym przypadku, dla szerokości rysy granicznej $w_{lim} = 0,1$ m, średnica prętów nie powinna być większa niż 2,03 mm dla wykonanego betonu C30/37 i 1,50 mm dla projektowanego betonu C20/25.

Według K. Flagi, warunkiem „zszycia” (uciąglenia) zarysowanej strefy przypowierzchniowej, w przypadku zastosowania prętów o większej średnicy ϕ jest zredukowanie naprężeń w stali do wartości:

$$\sigma_{s,lim} = f_{yk} \sqrt[3]{\frac{\phi_s}{\phi}} \quad (3.2)$$

W analizowanym przypadku (pręty $\phi 14$) zredukowane naprężenia $\sigma_{s,lim}$ wynoszą 215,4 MPa dla betonu C30/37 i 194,7 MPa dla betonu C20/25.

Wymagany stopień zbrojenia [4] na skurcz ρ_{ss} , uwzględniający jednocześnie wymagania normy [6], odniesiony do strefy przypowierzchniowej ściany powinien spełniać warunek:

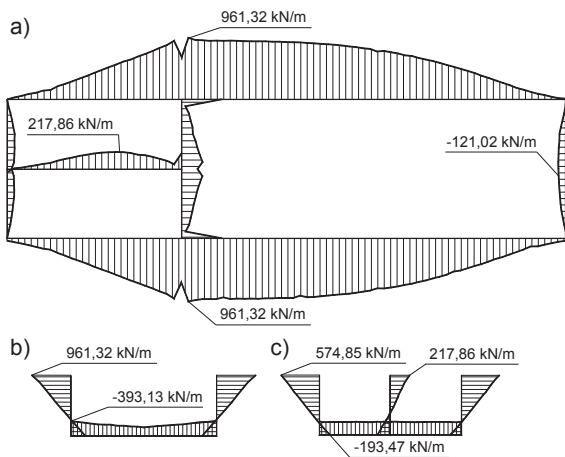
$$\rho_{ss} \geq 0,8 \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_{s,lim}} \quad (3.3)$$

W rozważanym przypadku ściany o tzw. średniej masywności, przy założeniu granicznej szerokości rysy $w_{lim} = 0,1$ m, uzyskuje się ρ_{ss} równe 1,08% dla betonu klasy C30/37 oraz 0,90% dla betonu C20/25. Wymagany stopień zbrojenia jest znacznie większy od występującego w strefie przypowierzchniowej ściany (0,69%).

Według Ciskreliego [7], zbrojenie przeciwskurczowe zwiększa wydłużalność graniczną betonu o mnożnik $1 + \rho_{ss}/\phi$, w porównaniu do wydłużalności granicznej betonu niezbrojonego f_{ctm}/E_{cm} , który w analizowanym przypadku wynosi 1,77 w przypadku betonu C30/37 i 1,64 dla betonu C20/25.

Korzystne oddziaływanie prętów przeciwskurczowych na rozciągany beton sięga na odległość $e = 7,5\phi$ według normy [8], natomiast według Eurokodu 2 [9] rozstaw prętów nie powinien być większy niż $5(c + \phi/2)$. W analizowanym przypadku dla otuliny prętów $c = 25$ mm maksymalny rozstaw prętów wynosi odpowiednio 21 cm i 16 cm, podczas gdy rozstaw prętów w ścianie wynosi 30 cm i według normy [6]. Jest to maksymalny rozstaw prętów zbrojeniowych poza przekrojami krytycznymi.

W okresie zimy na przełomie 2001 i 2002 roku, kiedy zbiornik był opróżniony po obciążeniu próbnym, na niekorzystne oddziaływanie skurczu nałożył się niekorzystny wpływ temperatury.



Rys. 4. Wykresy sił osiowych obwodowych w zbiorniku: a) poziom górny ścian, b) przekrój przy ścianie poprzecznej, c) przekrój przez komory

Ze sprawdzających obliczeń statycznych wynika, że zmiany temperatury powodują duże siły rozciągające w ścianach podłużnych zbiornika, szczególnie w strefie, w której występują pęknięcia ścian.

Na rysunku 4 zamieszczono przykładowe wykresy sił osiowych obwodowych w zbiorniku, przy założeniu liniowego spadku temperatury wzdłuż wysokości

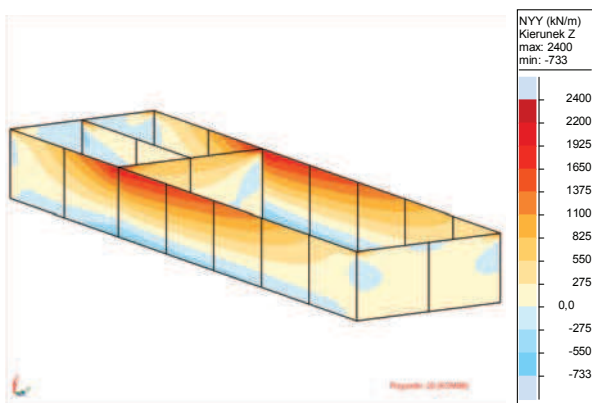
ścian zbiornika, od 10°C u góry zbiornika do 0°C przy dnie.

Zakładając normową temperaturę scalenia zbiornika i normowe obciążenie temperaturą w okresie zimowym, gdy zbiornik był pusty, uzyskuje się siły znacznie przekraczające siłę rysującą.

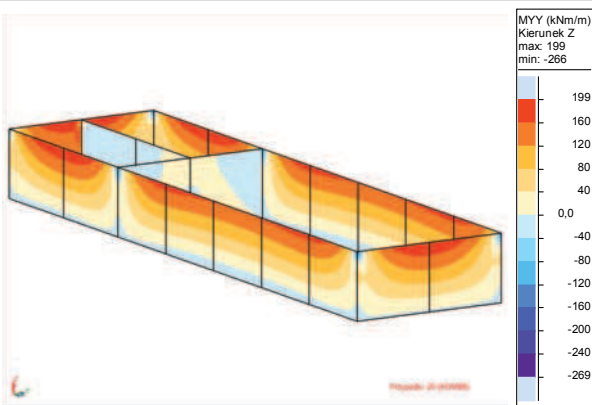
Z obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wynika, że dla kombinacji obciążeń obliczeniowych: ciężar własny, parcie cieczy i gruntu oraz obciążenie temperaturą dla okresu zimowego, zbrojenie ścian zbiornika jest niewystarczające. Siły osiowe obwodowe (rys. 5) i momenty zginające obwodowe (rys. 6) powodują przekroczenie stanów granicznych w strefie występowania rys w ścianie.

Obliczenia statyczne zostały wykonane programem Robot Millenium dla przestrzennego modelu zbiornika. W analizowanym przypadku zbrojenie ścian zbiornika jest niewystarczające nie tylko z uwagi na skurcz i wpływy termiczne, ale także nie spełnia normowego warunku minimalnego zbrojenia. Ponadto rozstaw prętów zbrojenia jest zbyt duży.

Zdaniem autorów, poziome zbrojenie ścian zbiornika powinno być sumą zbrojenia przeciwskurczowego oraz obliczonego na obciążenia eksploatacyjne i wpływy termiczne, przy założeniu, że dla przyjętej średnicy prętów zbrojenia naprężenia w stali są zredukowane do poziomu $\sigma_{s,lim}$ według (3.2). Ponadto rozstaw prętów powinien spełniać wymagania przytoczone powyżej.



Rys. 5. Rozkład wartości sił obwodowych (równoleżnikowych)



Rys. 6. Rozkład wartości obwodowych momentów zginających

BIBLIOGRAFIA

- [1] Godycki-Ówirko T., Korzeniowski P., Piotrkowski P., Przyczyny zarysowania zbiornika oczyszczalni ścieków, Inżynieria i Budownictwo nr 3/2009
- [2] Dyduch K., Płachecki M., Błędy projektowe i wykonawcze w żelbetowych zbiornikach na cieczę i ścieki, XII Konferencja Naukowo-Techniczna „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i cieczę”, Kraków 2003
- [3] Byczkowski W., Czwojdzński Z., Analiza pracy statycznej długich zbiorników prostopadłościennych, X Międzynarodowa Konferencja „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i cieczę”, Kraków 1995
- [4] Flaga K., Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych, Monografia, seria Inżynieria Lądowa nr 295, Politechnika Krakowska, Kraków 2004
- [5] Rüşch H., Jungwirth D., Skurcz i pęczanie w konstrukcjach betonowych, Arkady, Warszawa 1979
- [6] PN-B-03264:2002. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [7] Ciskreli G. D., O rastiażimosti armirovanyh bieronow. Bieron i Żeliezobieron nr 19/1964
- [8] PN-91/S-10042. Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie
- [9] PN-EN 1992-1-1. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu, wrzesień 2008