

# Przyczyny korozji stalowych zbiorników na ścieki komunalne

Dr inż. Marek Maj, dr hab. inż. Andrzej Ubysz, Politechnika Wrocławska

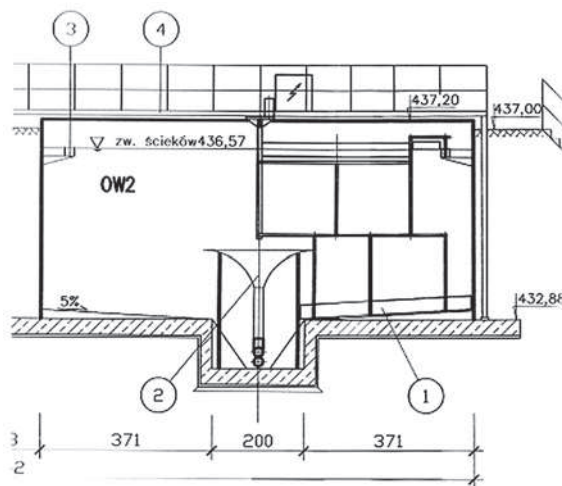
## 1. Opis konstrukcji

Zagadnienie przedstawiono na przykładzie jednego z dziewięciu stalowych osadników w Zakładzie Oczyszczalni Ścieków, jako końcowa komora reaktora zlokalizowana na końcu linii technologicznej oczyszczania ścieków gminnych (rys. 1). Wydajność linii wynosi 1328 m<sup>3</sup>/dobę. Zbiornik jest zagłębiony w gruncie do poziomu -3,5 m. Średnica zbiornika wynosi 9,42 m, wysokość zbiornika 4,32 m i aktywna objętość 257 m<sup>3</sup>. Ściany zbiornika wykonano z pasów blachy fałdowej o wymiarach w milimetrach 3000 x 840 x 2,1. Odległość pomiędzy fałdami wynosi 120 mm, wysokość fałdy 10 mm, zagłębienie w żelbetowym fundamencie około 25 cm. Pasy blachy połączone są śrubami zaciskowymi  $\phi$  8 o średnim rozstawie w pionie i poziomie 60 mm. Blachy są zabezpieczone powłoką antykorozyjną, jednak nie posiadają aprobat technicznych.

Wszystkie zbiorniki posadowione są na żelbetowej płycie fundamentowej o wymiarach w metrach 49,05 x 21,95 x 0,30, zbrojonej dwustronnie siatkami żebrowanymi  $\phi$  12 o rozstawach prętów 0,15 m x 0,15 m. Dno zbiornika uformowano w formie leja za pomocą warstwy betonu drobnoziarnistego z dodatkami uszczelniającymi i pokryto abizolem R+2P (rys. 2).

## 2. Przyczyny korozji ścian stalowych zbiorników

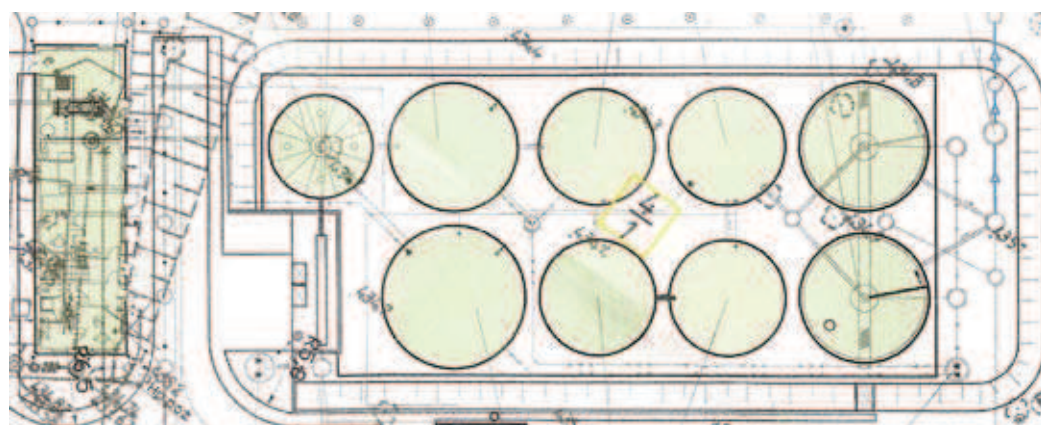
Podczas zaledwie rocznej eksploatacji na ścianach zbiorników zauważono liczne ślady korozji (rys. 3, 4, 6), która doprowadziła do wypływu ście-



Rys. 2. Przekrój pionowy osadnika wtórnego

ków do gruntu. Korozji uległy: płaszcz zbiornika, metalowe elementy konstrukcyjne zbiornika i inne zespolone ze ścianami. Korozja objęła te partie zbiornika które były pod powierzchnią oczyszczanych ścieków. Znamiennym był fakt, że ściany zbiornika pierwszego w ciągu technologicznym, do którego wpływają ścieki komunalne z miasta, tzw. szlamownika, nie wykazywały żadnego naruszenia powierzchni (rys. 5). Natomiast ściany zbiornika osadnika wtórnego, do którego wpływa prawie oczyszczona woda, były znacznie skorodowane.

Spośród wielu typowych przyczyn korozji ścian metalowych zbiorników można wymienić następujące:



Rys. 1. Rozmieszczenie zbiorników w oczyszczalni ścieków. Przedmiotowy zbiornik to ostatni po prawej stronie na dole



**Rys. 3.**  
Wewnętrzna  
powierzchnia  
ściany  
zbiornika



**Rys. 5.** Ściana zbiornika szlamowego bez żadnych śladów korozji



**Rys. 4.** Zbiornik osadnika wtórnego z widocznymi śladami rdzy do maksymalnego poziomu powierzchni ścieków



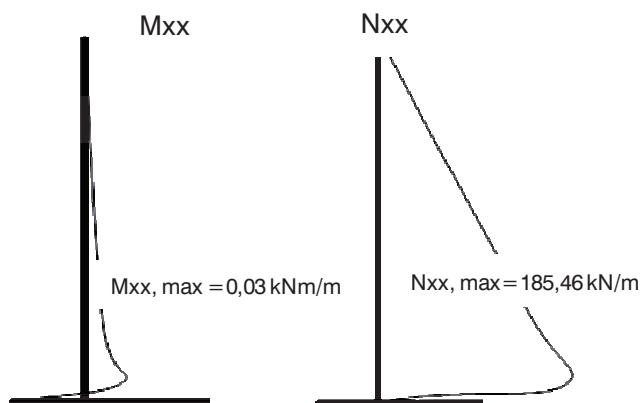
**Rys. 6.**  
Liczne ślady korozji wgłębnej powodującej przeciekanie zbiornika

1. Zła jakość blachy – bez aprobat technicznych.
2. Zły skład chemiczny samych blach powodujący strukturalne korodowanie materiału, z którego wykonano blachy fałdowe.
3. Źle dobrany typ powłoki ochronnej w stosunku do składu chemicznego agresywnego środowiska ścieków oraz jej złe wykonawstwo.
4. Przekraczanie stanu nośności granicznej lub stanu granicznego użytkowania.
5. Uszkodzenia mechaniczne spowodowane obluzowaniem przewodnic mieszadeł.
6. Niepoprawne zabezpieczenie katodowe i anodowe stalowych ścian zbiornika.
7. Zjawiska zachodzące w powłoce od strony gruntu, korozja, ubytki spowodowane agresywnością wód gruntowych itp.
8. Przechylnie zbiorników spowodowane nieszczelnością dna lub ścian powodujące podmywanie fundamentów zbiornika.

### 3. Obliczenia statyczne i badania chemiczne konstrukcji ścian zbiornika

Wiele awarii powłok zbiorników stalowych z blach fałdowych spowodowanych jest przekroczeniem granicznych stanów nośności lub użytkowania [1]. Dla stalowego osadnika wykonano obliczenia statyczno-wytrzymałościowe. Przyjęto dwa reprezentatywne warianty obciążeń – od nawodnionego gruntu oraz od naporu hydrostatycznego. Jako jedno z kryterium przyjęto zalecenia podane w [2]. Sprawdzono SGN dla powłoki stalowej, nośność złączy śrubowych, wartość krytycznej siły powodującej wyobcowanie konstrukcji. Nośność gruntu pod fundamentem i samego fundamentu były zachowane z dużym nadmiarem. Wartości sił wewnętrznych w ścianie osadnika pokazano na rysunku 7. Warunek nośności łącza śrubowego wg [2] ma postać:

$$N_{yy} < \min(nF_{nRd}; nF_{b,Rd}) \quad (1)$$



**Rys. 7.** Siły wewnętrzne w zbiorniku od obciążenia hydrostatycznego

gdzie:  $n$  – ilość śrub w łączu,  $F_{nRd}$ ,  $F_{b,Rd}$  – nośności śruby na ścinanie i na docisk mają wartości  $n_{F_{nRd}} = 237,60$  kN/m,  $n_{F_{b,Rd}} = 259,09$  kN/m przy sile w ścianie o wartości  $N_{yy} = 185,46$  kN/m. Warunek (1) z dużym zapasem jest spełniony. Krytyczna siła  $R_B$  powodująca wyboczenie konstrukcji ma postać:

$$R_B = 1,2\Phi_b C_n (EI)^{1/3} (M_S K_b)^{2/3} R_h \quad (2)$$

gdzie: współczynnik nośności z uwagi na wyboczenie ściany  $\Phi_b = 0,7$ , uwzględnienie efektów nieliniowych  $C_n = 0,55$ , moduł sprężystości dla stali,  $E = 210000$  MPa,  $f_{yd} = 190$  MPa, moment bezwładności  $I = 0,000000037$  m<sup>4</sup>/m, edometryczny moduł gruntu przyjęto  $M_S = 50\,000$  kPa, współczynnik Poissona  $\nu = 0,25$ ,  $K_b = (1-2\nu)/(1-\nu^2) = 0,533$ , największa rozpiętość konstrukcji  $D_h = 9,42$  m, wysokość konstrukcji  $R = 4,7$  m, współczynnik niejednorodności podparcia  $R_h = 11,4/(11 + D_h/R) = 0,87$ .

$$R_B = 716,9 \text{ kN/m} > N_{yy} = 185,46 \text{ kN/m}$$

Także i ten warunek jest spełniony z dużym zapasem. Sprawdzenie stanu granicznego nośności, wyrażające przekształcenie konstrukcji w łańcuch kinematyczny ma postać:

$$\Psi = (N_{d,n} / (\omega f_{yd} A_s))^{ac} + (M_{d,n} / M_u) < 1,0 \quad (3)$$

gdzie:  $N_{d,n}$ ,  $M_{d,n}$  – siła osiowa i moment zginający liczony wg SGN (rys. 7),  $\omega = N_{cr} / A_s f_{yd} = 0,80$ , siłę krytyczną dla ściany osadnika zagłębionego w gruncie przyjęto jako  $N_{cr} = 1,2(E_{s,d}(EI)/R)^{0,5} = 345,13$  kN,  $\alpha_c = \eta^2 W = 1,45$ ,  $\eta = Z/W = 1,35$ ,  $Z$  – plastyczny wskaźnik przekroju na zginanie,  $W$  – wskaźnik wytrzymałości,  $A_s$  – pole przekroju poprzecznego ściany,  $M_u = 1,35 W f_{yd} = 1,65$  kNm, obliczeniowy moduł styżny dla gruntu  $E_{s,d} = 50000$  kPa,

$$\Psi = 0,422061 < 1$$

Warunek jest spełniony z dużym zapasem. Obliczenia wykazały, że wykorzystanie nośności w powłoce jest na poziomie około 50%. Wskazuje to na fakt, że główna przyczyna korozji zbiornika nie leży ani po stronie źle przyjętych obciążeń, ani po stronie błędnego wyliczenia konstrukcji.

#### 4. Znaczenie procesu katodowego przy ochronie antykorozyjnej

Omawiany osadnik wtórny oczyszczalni jest konstrukcją stalową z dnem żelbetowym. Korozja elementów stalowych w bardzo agresywnym środowisku ścieków komunalnych i wilgotnej atmosferze może być wywołana przez dwa współpracujące ze sobą procesy występujące na granicy faz metal – elektrolit: a) proces anodowy, w którym metal przechodzi do roztworu (utlenianie) i b) proces katodowy, polegający na redukcji na powierzchni metalu cząsteczek lub jonów występujących w ściekach. W procesie katodowym w środowisku roztworów wodnych następuje redukcja rozpuszczonego w wodzie tlenu, natomiast w procesie anodowym jony wytwarzają na powierzchni metalu uwodnione tlenki np.  $Fe_2O_3$  lub  $Fe_3O_4$ . Zabezpieczenia antykorozyjne ścian konieczne wymagają stosowania dodatkowej ochrony w postaci instalacji katodowej z zewnętrznym źródłem prądu, aby zapewnić wystarczająco długą żywotność ścian metalowych w oczyszczalniach ścieków. Ujemny biegun źródła prądu musi być podłączony do konstrukcji stalowej elementów oczyszczalni, natomiast dodatni do anody umieszczonej w elektrolicie (ściekach). Zainstalowana moc stacji ochrony katodowej powinna być dla każdego osadnika wtórnego wielokrotnie większa od mocy zastosowanej dla pozostałych zbiorników.

Po kontroli mocy zastosowanej ochrony katodowej okazało się, że nie funkcjonowała ona poprawnie. Instalacja katodowa nie była zasilana zewnętrznym źródłem prądu. Bez takiej osłony nastąpiło bardzo szybkie utlenienie metalu w najsłabszych miejscach powłoki ochronnej.

#### 5. Alternatywne metody napraw

Najważniejsze możliwe sposoby naprawy to:

1. Wykonanie wewnątrz osadnika drugiego zbiornika żelbetowego. Stalowe ściany istniejącego osadnika byłyby wykorzystane jako tracone deskowanie. Zaletą tego rozwiązania jest podniesienie trwałości zbiornika, a wadą fakt zmniejszenia jego objętości.
2. Wykonanie wewnątrz osadnika płaszcza stalowego oraz poprawa zabezpieczenia anodo-katodowego. Zaletą tego rozwiązania jest szybkość wykonania prac remontowych, lecz wadą także zmniejszenie objętości zbiornika.

3. Wykonanie prac naprawczych, po obu stronach ściany stalowej zbiornika, poprzez usunięcie rdzy, uzupełnienie miejsc zniszczonych przez korozję, wykonanie powłoki ochronnej przeciwkorozyjnej oraz poprawa zabezpieczenia anodo-katodowego. Zaletą tego rozwiązania jest utrzymanie istniejącego ciągu i procesu technologicznego, natomiast wadą są znaczne koszty naprawy związane między innymi z odstonięciem zewnętrznej ściany zbiornika.

Ostateczny wybór metody naprawy uwzględnia najczęściej 3 czynniki: utrzymanie ciągu technologicznego bez zmiany użytkowych parametrów technicznych, bezpośrednie koszty prac remontowych oraz trwałość wykonanych prac. Żadna z zaproponowanych metod nie spełnia wszystkich oczekiwanych warunków. Dwie pierwsze zmieniają nieodwracalnie wydajność linii technologicznej, trzecia generuje najwyższą cenę, gdyż oprócz bezpośrednich kosztów napraw występuje ciągła obsługa instalacji anodo-katodowej. Opłacalność trzeciej metody wzrasta jednak zarówno przy konieczności zachowania parametrów eksploatacyjnych na niezmiennym poziomie, jak i przy długoterminowych planach użytkowania obiektu.

## 6. Wnioski końcowe

Przyczyn utraty odporności korozyjnej powłok stalowych powłok zbiorników nie należy upatrywać wyłącznie w przekroczeniu naprężeń lub odkształceń granicznych, które mogą powodować pęknięcia powierzchniowe powłok antykorozyjnych albo ich odspajanie.

Zniszczenie powierzchni powłok stalowych zbiorników na ścieki komunalne jest także skutkiem braku właściwej ochrony katodowo-anodowej oraz zaniedbań polegających na zastosowaniu materiałów niewłaściwych (blachy bez aprobat technicznych lub mających niewłaściwy skład chemiczny) lub niedostatecznie zabezpieczonych powłokami antykorozyjnymi.

Stały monitoring funkcjonowania instalacji katodowo-anodowej i stanu technicznego powłok antykorozyjnych może przedłużyć wielokrotnie żywotność metalowych zbiorników na ścieki.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Rządkowski J., Sawiński P., Modelowanie stanu przemieszczeń cienkościennego silosu stalowego, Inżynieria i Budownictwo, 2007, R. 63, nr 1
- [2] Janusz L., Madaj A., Obiekty inżynierskie z blach falistych, Projektowanie i Wykonawstwo. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009

# Problemy z użytkowaniem żelbetowych silosów na zboże po kilkudziesięciu latach eksploatacji

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński, dr inż. Marek Maj, dr inż. Czesław Bywalski, Politechnika Wrocławska

## 1. Wprowadzenie

Na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego stulecia wybudowano w Polsce dziesiątki nowych zakładów produkcyjnych, w tym dużą liczbę żelbetowych silosów, monolitycznych i prefabrykowanych. Wiele spośród tych silosów jest nadal intensywnie eksploatowanych bez żadnych napraw i wzmocnień. Użytkownicy tych konstrukcji często ograniczali się w przeszłości jedynie do bardzo powierzchow-

nych napraw, wychodząc z założenia że żelbet jest materiałem długowiecznym, odpornym na wpływy środowiska [1, 2]. Inną trudnością okazały się nowe normy silosowe, w których zwiększono ponad dwukrotnie wartości obciążeń obliczeniowych i innych oddziaływań w silosach [3, 4], a jednocześnie podniesiono wymagania dotyczące trwałości betonu i stali zbrojenowej [4]. W wyniku zaistniałych zmian wiele konstrukcji silosów wybudowanych w minionym

czasie nie spełnia dziś podstawowych warunków bezpiecznego użytkowania [5].

Powyższe zmiany wynikają z faktu, że wiele ośrodków badawczych zaangażowało się w badania obciążeń oddziaływujących na konstrukcję zbiorników, w opracowania dotyczące diagnostyki i ocen stanu technicznego silosów [6] oraz projektowania wg nowych norm silosowych zamieszczonych w [7, 8]. Z opracowań [6, 7, 8] wynika, że na skutek długoletniej eks-