

prof. dr hab. inż. Krzysztof Dyduch¹⁾
 dr inż. Marian Plachecki^{2)*}
 dr inż. Rafał Szydłowski³⁾

Analiza wzmocnień i napraw szczelności okrągłych zbiorników żelbetowych na ciecze techniką sprężania

Analysis of the tightness repairs of cylindrical reinforced concrete liquid tanks with prestressing

DOI: 10.15199/33.2015.09.34

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. Szczelność żelbetowych zbiorników na ciecze jest najważniejszym warunkiem w ich projektowaniu. Pomimo wielu lat krajowych doświadczeń w tej dziedzinie ciągle zdarzają się przypadki niepowodzeń przy wznoszeniu nowych i naprawie uszkodzonych zbiorników. W artykule przedstawiono najczęstsze przyczyny uszkodzeń, stosowane techniki wzmocniania oraz technologie naprawy przez sprężenie cięgnami zewnętrznymi.

Słowa kluczowe: ciągnie bez przyczepności, szczelność, wzmocnienie, zbiornik.

Abstract. The liquid tank tightness is the main design condition to satisfy in designing. In spite of great national experience in its construction some failures appears in designing and realization of these nowadays. This paper presents the most common failure reasons, prior and present strengthening solutions as well as the rules of procedure of designing of strengthening with external prestressing.

Keywords: strengthening, tank, tightness, unbounded tendon.

Szczelność żelbetowych zbiorników na ciecze jest podstawowym warunkiem ich prawidłowego funkcjonowania. Polska norma [4] jako warunek szczelności przyjmowała ograniczenie szerokości rys do 0,1 mm, natomiast norma [5] wprowadziła ich podział na 4 klasy szczelności w zależności od stawianych wymagań. Warunki przyporządkowane poszczególnym klasom omówiono szczegółowo w pracy [3]. Niestety, wiele zbudowanych w Polsce w latach wcześniejszych, a także budowanych współcześnie cylindrycznych zbiorników wykazuje znaczne uszkodzenia w postaci rys i przecieków. W wyniku braku szczelności zbiorniki te wymagają natychmiastowego wzmocnienia. Często jednak wykonujący ekspertyzy i projektujący naprawy stosują błędne rozwiązania, wynikające z błędnego rozpoznania przyczyn uszkodzeń. W artykule przedstawione zostaną podstawowe przyczyny uszkodzeń zbiorników, krytyczne podsumowanie stosowanych metod wzmocniania oraz nowe rozwiązania sprężania zewnętrznymi kablami niskotarciowymi.

Przyczyny nieszczelności zbiorników

Główne przyczyny nieszczelności zbiorników tkwią w błędach projektowych i wykonawczych oraz w przyjęciu niewłaściwej metody naprawy.

Najważniejsze błędy projektowe to:

- błędne ustalenie poziomu bądź rozkładu parcia cieczy na ścianę zbiornika w przypadku skomplikowanej konstrukcji;
- błędne schematy statyczne niezgodne z rzeczywistymi warunkami pracy konstrukcji;
- błędy w obliczaniu minimalnego zbrojenia i jego zaniżenie, co prowadzi do dużego rozwarcia rys [2];

• błędy lub brak uwzględnienia odkształceń narzuconych (skurczu i zmian termicznych) w weryfikacji stanu wyteżenia ścian zbiorników dla fazy wykonania i eksploatacji;

- błędy w rozpoznaniu podłoża gruntowego;
- błędy w analizie obliczeniowej szerokości rys.

Do najczęstszych błędów wykonawczych można zaliczyć:

- zaniżenie klasy betonu i wykonanie betonu nieszczelnego;
- zbyt mała lub nadmierne duża otulina zbrojenia;
- zbyt mała długość zakotwienia zbrojenia w strefach jego łączenia;
- błędne kształtowanie dylatacji i przerw roboczych w ścianach;
- braki odpowiedniej izolacji wewnętrznej powierzchni ścian i przekrycia zbiornika.

Częste błędy w naprawach i wzmocnieniach zbiorników to:

- błędne rozpoznanie przyczyn powstałych przecieków i zarysowań, a wśród nich brak dokładnych badań zbrojenia, tj. średnicy, rozkładu prętów i grubości otuliny oraz brak dokładnej oceny wytrzymałości betonu na rozciąganie w powłokach żelbetowych;
- ograniczenie naprawy do iniekcji rys w nieszczelnym zbiorniku, bez analizy stanu wyteżenia konstrukcji w aspekcie popełnionych błędów projektowych i wykonawczych.

Stosowane metody wzmocnienia i naprawy

W naprawach zarysowanych zbiorników na ciecze stosowano początkowo:

- wzmocnienie stalowymi obręczami z płaskowników;
- zewnętrzne płaszcze stalowe opasujące ściany zbiornika z wypełnieniem betonem szczeliny pomiędzy ścianą a blachą;
- zewnętrzne sprężenie obwodowe i zabezpieczenie cięgien warstwą torkretu grubości 50 mm.

Metody te okazały się mało skuteczne i spełniały swoje zadania najwyżej do 10 lat. Obecnie szczelność zbiorników żelbetowych uzyskuje się przez:

- wzmocnienie żelbetowej powłoki zbiornika przez dozbrojenie i wykonanie nowej powłoki z torkretem grubości minimum 15 cm;

¹⁾ Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego

²⁾ Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Jarosławiu

³⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

* Autor do korespondencji: e-mail: emplacheccy@neostrada.pl

- iniekcję ciśnieniową materiałami dostosowanymi do szerokości rys w powłoce; ta metoda stosowana jest tylko przy wystarczającym zbrojeniu obwodowym powłoki;
- wzmocnienie przez sprężenie zewnętrznymi cięgnami o czterokrotnym zabezpieczeniu antykorozyjnym; w Polsce ten sposób wzmocnienia stosowany jest z powodzeniem od 20 lat [2];
- wzmocnienie żelbetowym, sprężonym pierścieniem grubości 20 cm, dobetonowanym na zewnątrz zbiornika do wysokości h_1 (1/3 do 1/2 wysokości zbiornika) od dna; sprężenie wynika z założenia pełnego przejścia obwodowych sił rozciągających i momentów zginających od parcia cieczy na wysokości h_1 .

Ogólne zasady naprawy i wzmocnienia

Sposób wzmocnienia zbiornika musi być dostosowany do jego rzeczywistego stanu technicznego oraz przyczyn uszkodzeń. Ocena istniejącego stanu zbiornika powinna obejmować:

- rozpoznanie stanu technicznego zbiornika (inwentaryzacja uszkodzeń, ocena jakości betonu, inwentaryzacja i ocena zbrojenia);
- analizę dokumentacji projektowej, ocenę przyjętych obciążeń i modelu obliczeniowego oraz poprawności ukształtowania zbrojenia;
- ocenę zgodności realizacji z dokumentacją projektową.

Projektowanie wzmocnień metodą sprężania

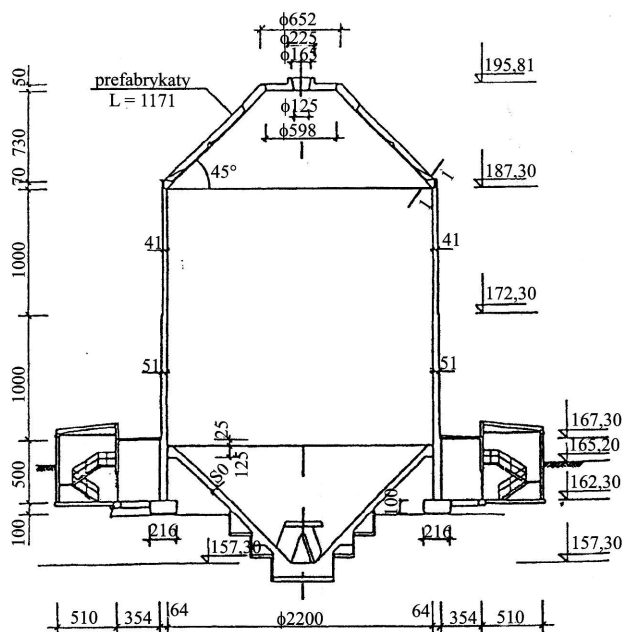
Niezbędne czynności przygotowawcze. Ze względu na konieczność weryfikacji stanów granicznych użyteczności i nośności pod wpływem przyłożonych sił sprężających w stanie pułapki należy wykonać:

- inwentaryzację uszkodzeń zbiornika (rysy, wybożenia prętów zbrojeniowych, miejsca istniejących wcześniejszych napraw);
- badania próbek betonu pobranych metodą odwiertów w pasmach największych parć i największego wyężenia oraz jednocześnie przeprowadzić szerokie badania sklerometryczne w zbiorniku w celu oszacowania jednorodności betonu w konstrukcji (wytrzymałość betonu w zbiorniku należy ocenić na podstawie krzywej skalowania: wytrzymałość próbek z odwiertów a wyniki badań sklerometrycznych);
- pełną inwentaryzację zbrojenia w ścianach zbiornika przy ich zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni (średnica i rozkład zbrojenia oraz jego otulina).

Kompleksowe ujęcie wszystkich kombinacji obciążeniowych w pracy zbiornika. W analizie statyczno-wytrzymałościowej wzmocnienia zbiorników przez sprężenie należy uwzględnić wszystkie możliwe obciążenia. W przypadku wzmocniania zbiorników ZKF o przekroju pokazanym na rysunku uwzględniono następujące obciążenia:

- ciężar własny konstrukcji ($\gamma_f = 1,1$);
- parcie ścieków przy eksploatacyjnym poziomie napełnienia +193,39 m łącznie z ciśnieniem biogazu 5 kPa ($\gamma_f = 1,3$); ciężar objętościowy ścieków przyjęto 10,5 kN/m³;
- obciążenie powłoki walcowej na dolnej krawędzi poziomą siłą obwodową $P = 340$ kN/m ($\gamma_f = 1,1$) z uwagi na różnicę przemieszczeń górnego pierścienia stożkowego dna i powłoki walcowej; wielkość tej siły wyznaczono w analizie numerycznej stożkowego dna i powłoki walcowej;
- obciążenie termiczne dla pory zimowej, temperatury ścieków +35°C i temperatury powietrza zewnętrznego -24°C, zgodnie z normą PN-86/B-02015. Założono, że zbiornik ocieplony jest od zewnątrz styropianem grubości 10 cm; dla obciążeń termicznych przyjęto $\gamma_f = 1,1$;

- parcie ścieków przy awaryjnym napełnieniu zbiornika (całkowite wypełnienie komory z pominięciem ciśnienia biogazu); założono współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,3$.



Przekrój pionowy zbiornika ZKF wzmocnianego przez sprężenie
Vertical cross-section of strengthened by prestressing cylindrical tank for sewage

Materiały stosowane do wzmocnienia

Do wzmocnienia żelbetowych zbiorników techniką sprężania należy stosować:

- cięgna bez przyczepności (niskotarciowe) L15,7 mm o przekroju 150 mm² (lub ich trzykrotność), wykonane ze stali wysokowęglowej o wytrzymałości $f_{pk} = 1860$ MPa. Cięgna te mają powłokę ochronną antykorozyjną w postaci kompozycji parafinowej nałożonej na cięgno (w zakładzie produkcyjnym); osłonki HDPE średnicy wewnętrznej $18 \div 20$ mm i grubości ścianki $1 \div 2$ mm; osłonki HDPE średnicy 32 mm i grubości ścianki $2 \div 3$ mm; iniekcji cementowej pomiędzy osłonkami wykonywanej z cementu portlandzkiego CEM I 32,5 z dodatkiem środków redukujących sedymentację, upłynniających względnie pęczniających. Stosunek W/C zaczynu iniekcyjnego wynosi $0,3 \div 0,4$.
- zakotwienia typu „X” o pełnym zabezpieczeniu antykorozyjnym cięgien sprężających w miejscu ich kotwienia.

Literatura

- [1] Noakowski P., Barteks O.: Wzmocnianie chłodni kominowych uszkodzonych rysami pionowymi, Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej Betonowe Konstrukcje Cienkościennie (Chłodnie kominowe, zbiorniki w oczyszczalniach, wirowane słupy energetyczne), Wrocław, 1993.
- [2] Dyduch K., Plachecki M., Wojtasiewicz M.: Analiza obliczeniowa i realizacja wzmocnienia żelbetowych zamkniętych komór fermentacyjnych w oczyszczalni ścieków, Materiały XX Konferencji Naukowo-Technicznej Awaryjne Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje, 2001, T. 1, str. 167÷174.
- [3] Halicka A., Jabłoński Ł.: Klasa szczelności a zbrojenie zbiornika, Inżynieria i Budownictwo, 3/2015, str. 146÷150.
- [4] PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [5] PN-EN 1992-3:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze.

Przyjęto do druku: 04.08.2015 r.