

prof. dr hab. inż. Czesław Miedziałowski*
dr inż. Romuald Szelaąg*

Aspekty eksploatacyjne zbiorników żelbetowych w elektrociepłowni

Operational aspects of reinforced concrete tanks in a thermal-electric power plant

Streszczenie. W artykule zamieszczono analizę przyczyn nieszczelności zbiorników odpadów paleniskowych w aspekcie wpływów termicznych, przerw dylatacyjnych oraz procesów karbonatyzacji betonu. Badaniom poddano obiekt zrealizowany w formie trzech kwater. Badanie konstrukcję stanowią ściany oporowe wykonane segmentami długości 20,0 m, na powierzchni którego występowały zarysowania i przecieki. Drugi zbiornik stanowił osadnik żużla przed pompownią szlakową, wykonany w technologii monolitycznej jako dwukomorowy, w którym występowało cykliczne przesiąkanie medium przez ściany. Wykonane analizy zakończono wskazaniem sposobu realizacji prac naprawczych umożliwiających ich dalszą eksploatację.
Słowa kluczowe: zbiornik, przerwy dylatacyjne, zarysowania, nieszczelności.

Abstract. The paper presents the analysis of the causes of leakage of furnace waste tanks in terms of thermal influences, expansion joints and concrete carbonation process. The research was carried out on the object in the form of 3 chambers where the structure consisted of retaining walls made of segments 20 m in length. On the surface of the object there were scratches and leaks. The second tank was a settler slag located in front a pump station, constructed in monolithic technology as a dual-chamber where periodic penetration of medium through walls occurred. The analysis was concluded with the indication on how to implement the repair work to allow their further operation.

Keywords: tanks, expansion joints, scratches, leaks

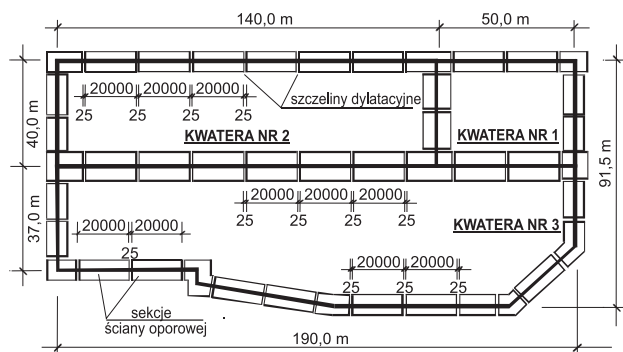
Zbiorniki wykorzystywane są w zakładach energetycznych do gromadzenia odpadów poprodukcyjnych popiołu i żużla zmieszanego z wodą. Badane przez nas obiekty, użytkowane przez kilkanaście lat, wskazywały na potrzebę realizacji prac naprawczych z uwagi na powstanie stanu zarysowań, któremu towarzyszyło przesiąkanie medium ciekłego na zewnątrz. W analizach wykorzystano obecnie obowiązujące wymagania określone normą [4] dotyczące oddziaływania skurczu, wpływów termicznych oraz zagadnienia niezawodności konstrukcji.

Zbiorniki przemysłowe wymagają przyjmowania rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiających zmniejszanie stanu naprężeń i eliminację zarysowań, których przyczyną mogą być bezpośrednie oddziaływania atmosferyczne. Zapewnienie poprawnej eksploatacji realizuje się m.in. przez odpowiednie kształtowanie przerw dylatacyjnych pozwalających na swobodne odkształcenia fragmentów konstrukcji. Jest to szczególnie istotne w obiektach przystosowanych do gromadzenia dużej objętości medium ciekłego, w których wystąpienie zarysowań powinno być ograniczane ze względu na konsekwencje ekologiczne, a wymagana klasa szczelności jest z reguły definiowana wartością równą 1 zgodnie z [6].

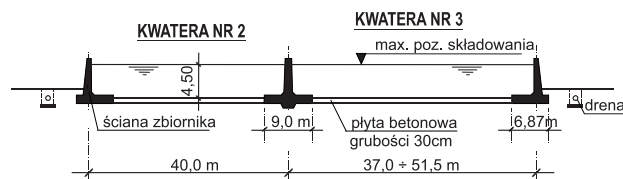
Zbiornik odpadów paleniskowych

Odpady w postaci cieczy tworzącej pulę składowane są w trzech kwaterach kształtujących zbiornik, którego ściany wykonano w formie żelbetowych ścian oporowych. Realizację obiektu podzielono na segmenty długości 20,0 m (rysunek 1), wykonując w pierwszym etapie fundamenty, a następnie ściany. Obiekt nie jest ocieplony, dlatego też kiedy jest napełniony, temperatura powierzchni wewnętrznej ścian do poziomu

napełnienia jest równa temperaturze cieczy, natomiast temperatura powierzchni zewnętrznej jest kształtowana czynnikami atmosferycznymi. Maksymalny poziom napełnienia wynosi 4,50 m (rysunek 2). W okresie kiedy komory są puste, temperatura ścian zbiornika ulega zmianom jak w przypadku budowli otwartych [7].



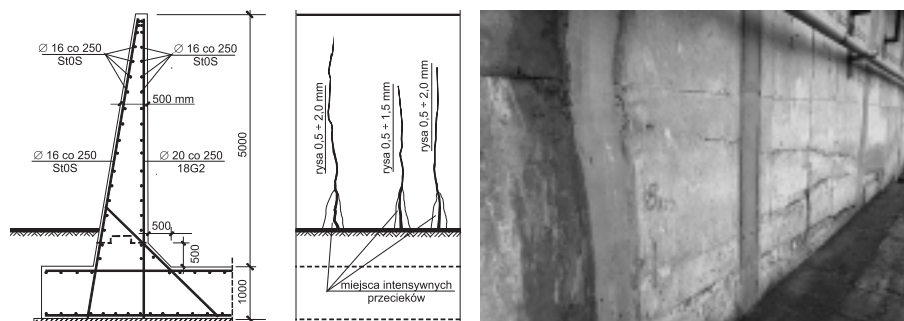
Rys. 1. Kwatera zbiornika odpadów paleniskowych ukształtowane jako żelbetowe ściany oporowe



Rys. 2. Przekrój poprzeczny komór

Podczas eksploatacji obiektu powstały pionowe rysy i spękania w ścianach oporowych. Towarzystwo im sączenie i przecieki wody technologicznej, których intensywność była największa w dolnych partiach ścian zewnętrznych, gdzie występowało największe ciśnienie cieczy (rysunek 3). Ustalono, iż szerokość rys i spękań wynosiła $0,5 \div 2,0$ mm, nie speł-

* Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska



Rys. 3. Ściany oporowe zbiornika składowiska; stan zarysowań i przecieków [Fot. R. Szelaq]

niając tym samym wymagań normowych [6]. Dopuszczalna szerokość dowolnej rysy, na wysokości 1,05 m i przy grubości ściany $h = 0,85$ m oraz poziomie maksymalnego napełnienia, któremu odpowiada $h_D = 3,45$ m, ograniczona jest do wartości $w_{k1} = 0,2$ mm, co wynika z iloczynu $h_D/h = 3,45$ m/ $0,85$ m = 4,05.

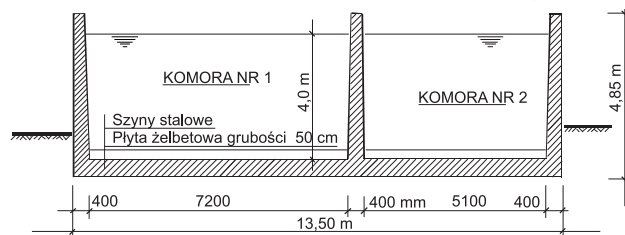
Ze względu na stwierdzony stan zarysowań oceniono, iż wystąpienie wad spowodowane zostało oddziaływaniami pośrednimi, gdyż rozmieszczanie prętów poziomych w przekrojach nie wynika z warunków stanów granicznych. Brak stosownych przepisów normatywnych dotyczących stwierdzonych uszkodzeń wymógł przeprowadzenie analiz spełnienia wymagań normy [5], w warunkach świadomych ograniczeń wynikających z braku korelacji pomiędzy charakterystyczną granicą plastyczności zastosowanych prętów a wartościami definiowanymi przepisami normy. Projektowaną klasę wytrzymałości betonu odniesiono do wyników badań sklerometrycznych [1], kwalifikując do betonu C16/20. Wymagany minimalny przekrój zbrojenia wynikający ze skurczu końcowego ustalono, uwzględniając wartości $f_{yk} = 220$ MPa oraz $f_{ct,eff} = 1,9$ MPa, i otrzymano dla przekroju ściany o średniej grubości $h_{gr} = 500$ mm, wartość $A_{s,min} = 43,2$ cm²/m, która odpowiada rozstawowi prętów $\phi 16$ mm przy obu krawędziach ściany w odległości nie większej niż $s = 9,31$ cm. Zastosowane zbrojenie okazało się niewystarczające z uwagi na ograniczenie swobody odkształceń skurczowych i termicznych. W analizach przeprowadzono również symulację oddziaływań skurczowych w pierwszych stadiach po zaformowaniu elementów, gdy przyczyną zarysowań jest odpływ ciepła hydratacji [2]. Uwzględniono rzeczywistą grubość otuliny $c_{nom} = 50$ mm, otrzymując maksymalny rozstaw rys $s_{r,max} = 2141$ mm oraz maksymalną szerokość rys $w_k = 2,402$ mm, które poprawnie wyjaśniają przyczynę nieszczelności segmentów ścian oporowych długości 20,0 m. Obecnie przepisy normowe [5] wymagają, aby odległość pomiędzy dylatacjami, w warunkach analogicznie realizowanych konstrukcji, wynosiła nie więcej niż 8,0 m.

Osadnik żużla

Osadnik żużla to zbiornik dwukomorowy o wymiarach 9,0 × 13,0 m wykonany jako monolityczna konstrukcja żelbetowa (rysunek 4), z betonu klasy wytrzymałości C12/15, zbrojona prętami ze stali A-III, 34GS. Zaprojektowano ściany jako podwójnie zbrojone od strony wewnętrznej pionowymi prętami średnicy $\phi 16$ mm, usytuowanymi w rozstawach co 100 mm, a od strony zewnętrznej prętami o średnicy 12 mm, w rozstawach co 200 mm. Zbrojenie poziome stanowią pręty ze stali 34GS o średnicy 10 mm, usytuowane w rozstawie co 200 mm.

Ustalono, iż w początkowych latach eksploatacji powstały w ścianach komór przecieki, a proces niszczenia powodowały także wody opadowe, zmienna temperatura, zamrażanie

i odmrażanie wody w porach betonu i agresja chemiczna składników zawartych w zawieszynie wodnej żużla. Pierwotną przyczyną niszczenia obiektu były wady dokumentacji projektowej, w której przewidziano wykonanie wszystkich elementów konstrukcyjnych z betonu niskiej klasy bez wymagań dotyczących wodoprzepuszczalności i nasiąkliwości betonu. Skutkowało to m.in. rozkładem wodorotlenku wapnia, który powodował



Rys. 4. Przekrój podłużny osadnika żużla

wał lokalne odspojenia i utratę przyczepności betonu do zbrojenia. Dodatkowo stan obiektu pogarszał fakt użycia mieszanki betonowej, której jednorodność była niedostateczna.

Ze względu na konieczność zabezpieczenia powierzchni elementów i zbrojenia przed korozją pobrano próbki betonu i wykonano badania stopnia pH. W miejscach spękań i przecieków wartość pH kształtowała się na poziomie 9,36 ÷ 9,46, co świadczy o postępujących procesach karbonatacji, natomiast w pozostałych przestrzeniach wynosiła 11,04 ÷ 12,19 pH, które oceniono jako poprawne. Wykonane obliczenia sprawdzające stan graniczny nośności ścian i płyty dennej potwierdziły poprawne rozmieszczenie zbrojenia w przekrojach elementów.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione analizy wskazują na przyczyny, które mogą powodować proces zarysowań i nieszczelności w użytkowanych zbiornikach. Spełnienie wymagań podstawowych dotyczących nośności elementów umożliwi przeprowadzenie prac uszczelniających, wykorzystując kompozyty z żywic [3]. Uszczelnienie zarysowań zbiornika odpadów paleniskowych wykonano na powierzchniach zewnętrznych, natomiast rysy osadnika żużla iniektoвано również ciśnieniowo.

Literatura

- [1] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [2] Knauff M.: Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [3] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych. Zeszyt 9: Naprawy konstrukcji żelbetowych przy użyciu kompozytów z żywic syntetycznych, Warszawa 2006.
- [4] PN-ISO 2394:2000 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych.
- [5] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [6] PN-EN 1992-3:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze.
- [7] PN-EN 1991-4:2008 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki.