

# Uszkodzenia zamkniętego wielokomorowego zbiornika na wodę

Dr inż. Andrzej Kmita, dr inż. Wojciech Pawlak, Politechnika Wroclawska

## 1. Wprowadzenie

W pracy przedstawiono przypadek uszkodzenia stropu wielokomorowego zbiornika na wodę technologiczną. Uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji stropu są związane z ponad czterdziestoletnią eksploatacją tego obiektu. W opracowaniu szczególną uwagę zwrócono na przyczyny uszkodzeń, analizując zarówno aspekty eksploatacyjne, projektowe oraz jakość prac związanych z wykonaniem konstrukcji obiektu. Na podstawie przeprowadzonych badań materiałowych oraz analizy stanu technicznego zbiornika zaproponowano sposób jego naprawy.

## 2. Opis obiektu

Przedmiotowy wielokomorowy zbiornik na wodę jest zlokalizowany w hali o wymiarach zewnętrznych 30,5x121,5 m. Zbiornik usytuowany jest w części podziemnej hali (znajduje się pod całym obiektem). Poszczególne części zbiornika przeznaczone są na wodę: zdekarbonizowaną, technologiczną, gospodarczą

i p.poż. Występują również komory suche. Układ komór zbiornika przedstawiono na rysunku 1.

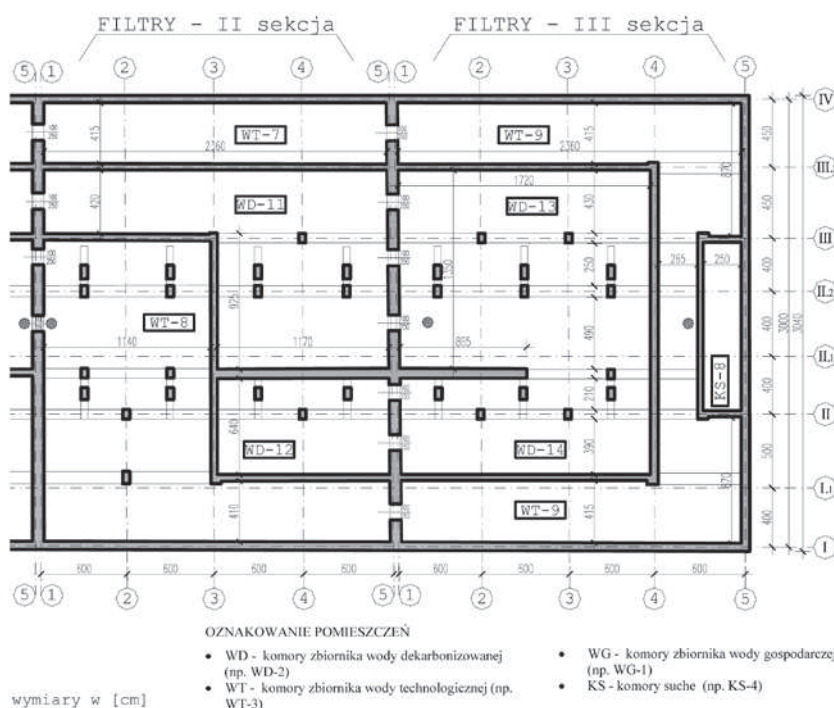
Zbiornik jest konstrukcją monolityczną żelbetową zaprojektowaną i wykonaną w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Zgodnie z dokumentacją techniczną, do realizacji zbiornika przewidziano beton marki  $R_w=170 \text{ kg/cm}^2$  oraz stal zbrojeniową gładką  $Q_R=2500 \text{ at.}$ , co jak na tamte czasy odpowiadało wymaganiom dotyczącym tego rodzaju obiektów.

Zbiornik o ścianach żelbetowych został zamknięty stropem żelbetowym płytowo-żebrowym o grubości płyty 120–200 mm w zależności od lokalizacji i przewidywanego obciążenia. Część komór zbiornika znajduje się w obszarze ogrzewanym hali, a część jest nieogrzewana. Cała powierzchnia zbiornika jest zadaszona. Hala nad zbiornikiem jest wykonana również w konstrukcji żelbetowej. Obiekt posadowiony jest na żelbetowej płycie fundamentowej stanowiącej równocześnie płytę denną zbiorników. Cała konstrukcja hali (w tym zbiorników) podzielona jest na, niemal równe, oddzielone od siebie pięć części po 24,2–24,3 m. Obiekt w części nadziemnej trójnawowy. Konstrukcja obiektu monolityczno-prefabrykowana, zbiorniki (w kondygnacji piwnicznej) – żelbet monolityczny. Słupy, stropy międzykondygnacyjne, schody też są wykonane jako monolityczne. Konstrukcja dachu – dźwigary i płyty dachowe – prefabrykaty żelbetowe.

Podczas przeprowadzonych badań obiektu stwierdzono, że strop przykrywający komory zbiornika jest w złym stanie technicznym. Na większości powierzchni stropu stwierdzono korozję zbrojenia jego elementów nośnych (płyty, żebra, podciąg). Stopień korozji jest bardzo zróżnicowany i w głównej mierze zależy od warunków ciepłno-wilgotnościowych na danym obszarze. Podstawowe uszkodzenia stropu to odłupana lokalnie otulina betonowa lub

## 3. Uszkodzenia konstrukcji zbiornika

Podczas przeprowadzonych badań obiektu stwierdzono, że strop przykrywający komory zbiornika jest w złym stanie technicznym. Na większości powierzchni stropu stwierdzono korozję zbrojenia jego elementów nośnych (płyty, żebra, podciąg). Stopień korozji jest bardzo zróżnicowany i w głównej mierze zależy od warunków ciepłno-wilgotnościowych na danym obszarze. Podstawowe uszkodzenia stropu to odłupana lokalnie otulina betonowa lub



Rys. 1. Szkic sytuacyjny układu części komór zbiornika

jej całkowity brak, skorodowane pręty zbrojeniowe. Stopień zaawansowania procesu korozji w elementach konstrukcyjnych (płyta stropowa, żebra, podciąg) przedstawiono na rysunkach 2, 3 i 4.

Jak widać na fotografiach, na niektórych obszarach, szczególnie w żebrach stropu, brak zbrojenia poprzecznego (strzemion), zbrojenie podłużne jest również mocno skorodowane. Stopień korozji zbrojenia głównego jest rzędu 30–60% (ubytek pola przekroju poprzecznego prętów).

Na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji uszkodzeń oraz badań materiałowych stwierdzono, że konstrukcja obiektu w wielu miejscach jest w stanie przedawaryjnym.

Należy dodać, że ze względów technologicznych (brak możliwości opróżnienia komór zbiorników) do inwentaryzacji uszkodzeń została zatrudniona specjalistyczna ekipa pletwonurków, która przez ponad trzy tygodnie prowadziła prace inwentaryzacyjne i oględziny stropu wraz z wykonaniem szczegółowej dokumentacji fotograficznej. Na podstawie tego autorzy opracowania dokonali oceny stanu technicznego poszczególnych komór zbiornika, sami schodząc tylko do wybranych komór znajdujących się w najgorszym stanie.

#### 4. Ocena przyczyn aktualnego stanu technicznego zbiornika

Na aktualny stan konstrukcji nośnej zbiornika, a przede wszystkim jego stropu ma wpływ kilka czynników. Głównym problemem jest jakość wykonania elementów konstrukcji nośnej stropu znajdującego się nad przedmiotowymi zbiornikami. Należy tu wymienić błędy wykonawcze dotyczące grubości otuliny oraz rozmieszczenia zbrojenia głównego żeber i podciągów. W większości przypadków wartość grubości otuliny betonowej wynosiła od 0 do 15 mm. Są to wartości za małe zarówno co do wymagań normowych obowiązujących w momencie projektowania i wznoszenia obiektu [1] jak też, w jeszcze większym stopniu, wg obowiązujących aktualnie norm [2].

W żebrach i podciągach stwierdzono również zbyt duże zagęszczenie zbrojenia podłużnego, które praktycznie uniemożliwiało prawidłowe zagęszczenie betonu w strefie otuliny dolnych prętów podłużnych.

Odrębnym zagadnieniem w omawianym przypadku są otwory rewizyjne wykonywane w płycie stropowej. Część z nich wykonana (wycięta) po oddaniu obiektu do użytku (w czasie eksploatacji, w różnym okresie) stała się ogniskiem korozji. Niezabezpieczone, korodujące zbrojenie pozostałe po wycięciu otworów (rys. 5) doprowadziło do mocnej destrukcji betonu w tym obszarze. Nie mówiąc już o tym, że otwory te wykonano bez żadnych sprawdzających analiz statyczno-wytrzymałościowych podejmowanych rozwiązań.

W obszarach stropu przy otworach dochodziło do intensywnego parowania i skraplania wody na dolnej po-



**Rys. 2.** Stopień zaawansowania procesu korozji elementów konstrukcyjnych – płyta stropowa



**Rys. 3.** Stopień zaawansowania procesu korozji elementów konstrukcyjnych – żebro



**Rys. 4.** Stopień zaawansowania procesu korozji elementów konstrukcyjnych – podciąg

wierzchni stropu (brak odpowiedniej wentylacji wnętrza zbiornika), a w konsekwencji do korozji betonu o charakterze ługującym [3].

W kilku komorach stwierdzono również lokalne zarysowanie płyty stropowej (w środkowej części przęsła), które świadczy o nadmiernym wyężeniu konstrukcji. Trudno ustalić co było przyczyną takiego stanu rzeczy, mogło to być związane z lokalnym przeciążeniem



**Rys. 5.** Stan płyty stropowej w obszarze wykonanych otworów

stropu w trakcie długoletniej eksploatacji, jak również ze spadkiem nośności płyty w wyniku korozji zbrojenia głównego. W niektórych przypadkach wyliczony spadek nośności konstrukcji płyty w stosunku do wartości początkowej wynosił 30–40%.

Wpływ uszkodzeń elementów konstrukcji stropu na ich nośność oceniano opierając się na stanie wyjściowym powykonawczym. Zgodnie z obowiązującymi normami, warunek nośności można przedstawić w następującej formie:

$$E_d(G_k \cdot \gamma_G; Q_k \cdot \gamma_Q) \leq R_d \left( A_C; \frac{f_C}{\gamma_C}; A_S; \frac{f_y}{\gamma_S} \right) \quad (1)$$

gdzie:

$E_d$  – wartość obliczeniowych efektów oddziaływań stałych i zmiennych,

$G_k$  – charakterystyczna wartość oddziaływania stałego,

$Q_k$  – charakterystyczna wartość oddziaływania zmiennego,

$\gamma_G, \gamma_Q$  – częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla oddziaływań, odpowiednio, stałych i zmiennych,

$R_d$  – wartość obliczeniowa nośności,

$A_C$  – charakterystyka przekroju betonowego (pole przekroju betonowego),

$A_S$  – charakterystyka przekroju stali zbrojeniowej (pole przekroju stali zbrojeniowej),

$f_C$  – charakterystyka wytrzymałości przekroju betonowego (charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie),

$f_y$  – charakterystyka wytrzymałości przekroju stali (charakterystyczna granica plastyczności stali zbrojeniowej).

Szacując na podstawie dokonanych badań i inwentaryzacji – uszkodzenia, najczęściej w formie ubytków betonu ( $\square A_C/A_C$ ) oraz stali ( $\square A_S/A_S$ ) do stanu początkowego, określano wpływ tych uszkodzeń na zmianę (spadek) nośności elementów konstrukcji stropu nad zbiornikiem. Jako kryterium przyjęto stopień wykorzystania wytrzymałości materiału: betonu ( $\square f_C/f_C$ ) oraz stali zbrojeniowej ( $\square f_y/f_y$ ) (gdzie:  $\sigma_C$  – naprężenia w betonie;  $\sigma_S$  – naprężenia w stali zbrojeniowej) przy ustalonych ob-

ciążeniach, podobnie jak przedstawiono to w pracy [4]. Analizę wpływu uszkodzeń na ocenę nośności poszczególnych elementów sprowadzono do przekrojów o największym stopniu degradacji. Na podstawie tak przeprowadzonej analizy ustalono harmonogram prac remontowych obiektu.

Dodatkowo należy powiedzieć, że sprawdzano stan techniczny ścian i słupów zbiornika, które oceniono na stopień dobry/zadowolający. W celu oceny wytrzymałości betonu użytego do wykonania analizowanego obiektu, pobrano z konstrukcji odwierty rdzeniowe (o średnicy 100 mm), które to następnie w laboratorium Instytutu Budownictwa PWr przygotowano na próbki badawcze (o średnicy  $D=100$  mm i wysokości  $H=100$  mm), na których wyznaczono wytrzymałość na ściskanie. Następnie zgodnie z normą [5] ustalono klasę betonu z jakiego wykonana jest badana konstrukcja. Beton określono na klasę w przedziale C20/25 (B25) – C35/45 (B45).

## 5. Naprawa żelbetowych konstrukcji zbiornika

Biorąc pod uwagę bardzo duże zróżnicowanie stopnia uszkodzenia elementów konstrukcji stropu zbiornika, opracowano harmonogram prac remontowych uwzględniający aktualny stan techniczny poszczególnych elementów oraz ich ważność w bezpiecznej eksploatacji całego obiektu.

Dla ustalonych terminów realizacji prac remontowych, podano ogólne zasady prowadzenia napraw konstrukcji żelbetowych, a w szczególności reprofiliacji betonu i odtworzenia zaprojektowanego zbrojenia w miejscach najbardziej skorodowanych:

- oczyszczenie powierzchni betonu z luźnych fragmentów (odpadająca otulina), a czasem nawet usunięcie wierzchniej warstwy skarbonatyzowanego betonu celem dojścia do warstwy o większej wytrzymałości; metoda wykonania poprzez piaskowanie (wodne lub suche) czy też mechaniczne skuwanie skorodowanej warstwy,

- oczyszczenie prętów zbrojeniowych z produktów korozji (mechaniczne),

- ewentualne odtworzenie skorodowanego w stopniu dużym zbrojenia poprzez dospawanie dodatkowych prętów zbrojeniowych (tak by zachowana została zaprojektowana powierzchnia zbrojenia – odtworzenie nośności),

- naniesienie antykorozyjnej warstwy zabezpieczającej na pręty zbrojeniowe,

- naniesienie warstwy szczepnej na zabezpieczone zbrojenie,

- wykonanie reprofiliacji modyfikowanymi zaprawami polimerowymi,

- nałożenie ochronnej powłoki malarskiej.

Różne są oczywiście stosowane materiały naprawcze. Zwykle podstawowym wymaganiem odnośnie do wytrzymałości betonu, umożliwiającym zastosowanie na-

prawczych procedur systemowych jest klasa betonu co najmniej C16/20 (B20). W omawianym przypadku klasę betonu określono na próbkach z odwiertów rdzeniowych. Mieści się ona w przedziale C20/25 (B25) – C35/45 (B45). Jest to wytrzymałość w pełni odpowiadająca warunkom jakości betonu narzucanym przez producentów systemów naprawczych.

Odrębnym zagadnieniem jest naprawa, ewentualnie rekonstrukcja uszkodzonego w dużym stopniu zbrojenia. W odniesieniu do prętów zbrojeniowych, na metodykę i sposób ich naprawy ma wpływ zakres ubytków korozyjnych. Pręty, których średnice zmniejszyły się do około 10÷25% mogą zostać oczyszczone i zabezpieczone bezpośrednio preparatami naprawczymi. Niestety, w konstrukcji występują miejsca, w których pręty zostały całkowicie zniszczone przez korozję. Dotyczy to zarówno prętów zbrojenia podłużnego, jak i strzemion. W takich przypadkach konieczne jest całkowite odstonięcie prętów na odcinku od podpory do podpory, wycięcie skorodowanych i całkowicie uszkodzonych fragmentów, a następnie odtworzenie zbrojenia o wymaganym przekroju. Jeżeli na długości elementu część zbrojenia jest w dobrym stanie, można odtworzyć uszkodzone zbrojenie przez spawanie nowych prętów zbrojeniowych o identycznych średnicach. Pręty muszą być spawane do nieuszkodzonego zbrojenia. W konstrukcji zastosowano stal gładką klasy A-0 lub A-I, gat. odpowiednio St0S lub St3S (wg normy PN-B-03264:2002), która jest stalą spawalną.

Osobnym problemem jest naprawa całkowicie skorodowanych strzemion. Jeśli strefa uszkodzeń obejmuje środkową część belki, nie ma istotnego zagrożenia przy braku pojedynczych strzemion. Sytuacja zmienia się w sąsiedztwie podpór, gdzie braki strzemion mają istotny wpływ na nośność przekrojów podporowych na ścinanie. Również reprofelowane pręty podłużne powinny być objęte nowymi strzemionami. Nowe strzemiona można wykonać w klasyczny sposób z prętów zbrojeniowych o średnicy min. 8 mm giętych do konturu przekroju poprzecznego belki. Nagwintowane końce strzemion należy przeprowadzić przez otwory w płycie o średnicy 10÷12 mm. Na końcówki strzemion założyć podkładki oporowe i doprężyć nakrętkami z podkładkami. Całość zabezpieczyć powłokami ochronnymi. Strzemiona umieszczać w miejscu zniszczonych strzemion w rozstawie zapewniającym przeniesienie sił ścinających.

Dodać trzeba, że prace naprawcze będą prowadzone w specyficznych warunkach. Zakład prowadzi nieprzerwaną produkcję. Nie można całkowicie osuszyć zbiorników (można tylko obniżyć poziom wody). Nie można kolejnych zbiorników wyłączyć z procesu technologicznego zakładu. Prace przy oczyszczaniu betonu i stali zbrojeniowej należy prowadzić w sposób, który zapewniałby niezabrudzenie wody w zbiorniku (konieczność zabezpieczenia foliami, siatkami ochronnymi). Takie same środki ostrożności należy stosować przy aplikacji systemów naprawczych. Dodatkowym

utrudnieniem są warunki ciepłno-wilgotnościowe panujące w komorach, brak światła dziennego oraz stałych światel sztucznych. Wejścia do komór są najczęściej bardzo małe, co też będzie utrudniało wykonanie prac naprawczych.

## 6. Wnioski końcowe

Przeprowadzona szczegółowa analiza istniejącego stanu konstrukcji stropu zamkniętego zbiornika wielokomorowego prowadzi do następujących wniosków:

- występujące w stropie zbiornika procesy destrukcji betonu i stali zbrojeniowej doprowadziły w wielu jego obszarach do stanu przedawaryjnego,
- ocena stanu technicznego elementów stropów nad komorami zbiornika wykazała obecność typowych uszkodzeń dla elementów żelbetowych pracujących w trudnych warunkach ciepłno-wilgotnościowych, szczególnie w obszarach mostków termicznych,
- istotny wpływ na stopień degradacji konstrukcji miały błędy wykonawcze dotyczące braku odpowiedniej grubości otuliny zbrojenia.

Zaproponowana technologia naprawy zapewni przywrócenie projektowanej nośności konstrukcji, a także spowolni proces destrukcji elementów najbardziej narażonych na korozję.

Zwrócono również uwagę Użytkownikowi obiektu na potrzebę systematycznej kontroli stanu technicznego zbiornika, który ze względu na trudne warunki eksploatacji, generujące procesy destrukcji betonu i stali zbrojeniowej, powinien być monitorowany ze szczególną uwagą. Podchodząc ogólnie do problemu napraw, remontów, sprawdzania i oceny stanu technicznego zbiorników żelbetowych możliwe jest, naszym zdaniem, opracowanie generalnych zasad i metody postępowania przy realizacji tego rodzaju zadań. W obiektach takich jak zbiorniki, występują podobne rodzaje uszkodzeń, defektów, tworząc poważne problemy metodyki diagnozowania tych konstrukcji. Stworzenie bazy danych (przykładowych uszkodzeń, sposobów napraw), pozwalałoby na wykonanie szybkiej i możliwie wiarygodnej do porównania z innymi podobnymi obiektami, oceny stanu technicznego zbiorników. Dawałoby to narzędzie nie tylko do diagnozowania stanu technicznego zbiorników, ale również, w sprzężeniu zwrotnym, byłoby przydatne dla projektantów tego typu obiektów.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-56/B-03260. Konstrukcje żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [2] PN-EN 1992-1-1: 2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [3] Czarnecki L., Emmons P. H., Naprawa i Ochrona Konstrukcji Betonowych. Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2002
- [4] Bień J., Modelowanie obiektów mostowych w procesie ich eksploatacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002
- [5] PN-EN 13791: 2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych