

# Zasady wykonywania i odbioru robót żelbetowych zbiorników w oczyszczalniach ścieków

Prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz, Instytut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska, mgr inż. Jan Sieczkowski, Instytut Techniki Budowlanej

## 1. Wprowadzenie

Wszędzie tam, gdzie powierzchnia betonu narażona jest na oddziaływanie czynników destrukcyjnych występuje korozja betonu, która z kolei przyczynia się do korozji zbrojenia umieszczonego w tym betonie, a także potęguje skutki popełnionych błędów na etapie projektowania, wykonywania oraz eksploatacji obiektu budowlanego. Przyczynia się także do obniżenia niezawodności i trwałości tych obiektów. Potwierdzają to wieloletnie analizy danych o zagrożeniach, awariach i katastrofach, wykonywane przez Instytut Techniki Budowlanej [1].

Termin korozja betonu oznacza nieodwracalne zmiany właściwości betonu zachodzące w wyniku oddziaływania agresywnego środowiska zewnętrznego lub też w wyniku destrukcyjnych procesów zachodzących między niektórymi składnikami cementu albo cementu i kruszywa (korozja wewnętrzna betonu).

Na korozję betonu narażone są szczególnie zbiorniki oraz silosy na ciecze i na materiały sypkie, kominy i wieże, mosty i wiadukty, a także inne budowle przemysłowe i specjalne wykonywane głównie z żelbetu, betonu sprężonego lub stali, rzadziej z ceramiki lub drewna.

Stosowane obecnie betony w konstrukcjach zbiorników są materiałami powstałymi ze zmieszania nie tylko cementu, kruszywa grubego i drobnego oraz wody, ale także domieszek, dodatków lub włókien polipropylenowych. Skuteczne zapobieganie korozji betonów jest zadaniem trudnym, ponieważ obejmuje wiele powiązanych ze sobą działań. Do działań tych należy zaliczyć taki dobór składników mieszanek betonowych (wzbogaconych odpowiednimi domieszkami oraz dodatkami), który umożliwi zmniejszenie ich porowatości podczas układania i zagęszczenia w elementach zbiorników. Mogą być również stosowane specjalne chemiczne powłoki ochronne, które zapobiegają wnikaniu wody, jonów kwasowych czy innych szkodliwych czynników, gwarantując przy tym możliwość swobodnego odparowania wody z betonu.

Niekorzystne wpływy środowiska na betony wynikają m.in. z wysokiej alkaliczności betonów ( $pH \approx 13,0$ ), sprzyjające reakcjom chemicznym z generalnie kwaśnym otoczeniem ( $pH < 7,0$ ), a ich porowata struktura umożliwia wnikanie agresywnych związków do wnętrza betonu w elementach. Wpływ środowiska uwzględniany jest już na etapie projektowania konstrukcji według Eurokodu 2 [2], gdzie podano szereg wymagań wynikających z klasy ekspozycji obiektów budowlanych. Wymagania te dotyczą nie tylko jakości materiałów, technologii

wykonania, rozwiązań konstrukcyjnych, ale także wskazują na duże znaczenie przeglądów technicznych w trakcie eksploatacji zbiorników [3].

Oddziaływania środowiska na zbiorniki są klasyfikowane za pomocą klas ekspozycji. Norma [4] wyróżnia następujące klasy ekspozycji:

- klasa XO – brak zagrożeń korozją lub agresją środowiska,
- klasa XC – korozja spowodowana karbonatyzacją,
- klasa XD – korozja spowodowana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej,
- klasa XS – korozja spowodowana chlorkami pochodzącymi z wody morskiej,
- klasa XF – agresja spowodowana zamrażaniem/rozmarzaniem przy udziale środków odladzających lub bez ich udziału,
- klasa XA – agresja chemiczna.

Do klasy XO kwalifikują się:

- konstrukcje zbiorników z betonu niezbrojonego i bez zabetonowanych elementów metalowych, znajdujące się we wszystkich środowiskach, z wyjątkiem zamrażania i rozmrażania, ścierania oraz agresji chemicznej,
  - konstrukcje zbiorników z betonu zbrojonego lub zawierające elementy metalowe znajdujące się w środowisku suchym.
- Zwraca się jednak uwagę, że pomimo wyraźnego wskazania braku zagrożeń korozją lub agresją środowiska, każde oddziaływanie środowiska powoduje degradację konstrukcji zbiorników z betonu. Substancje z otoczenia dyfundują przez pory, wywołując zwiększenie stężenia składników agresywnych w strukturze betonu oraz zmiany składu chemicznego zawartej w nim wilgoci. Oczywiście, gdy nie ma zbrojenia lub elementów metalowych w strefach brzegowych konstrukcji elementów zbiorników, nie wystąpi tam korozja stali i tym samym nie ma produktów korozji zwiększających objętość i wywołujących pękanie otulenia. Natomiast w przypadku konstrukcji zbrojonych znajdujących się w środowisku suchym pory betonów zawierają zbyt mało wilgoci, aby reakcje korozyjne stali mogły przebiegać swobodnie. W takich sytuacjach nawet gdy dojdzie do pogorszenia właściwości ochronnych stali, procesy korozyjne będą rozwijać się bardzo powoli [5].

Klasa XC – korozja betonu spowodowana karbonatyzacją, tj. reakcją chemiczną dwutlenku węgla ( $CO_2$ ) zawartego w powietrzu atmosferycznym oraz wodach opadowych, z wodorotlenkiem wapnia  $Ca(OH)_2$  zawartym w stwardniałym zaczynie cementowym w betonie. W wyniku tej reakcji powstają

kwaśne węglany wapnia  $\text{CaCO}_3$  obniżające odczyn  $\text{pH}$  betonu i tym samym zmniejszające właściwości ochronne otulin względem stali zbrojeniowej oraz woda ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Przebieg karbonatyzacji głównie zależy od możliwości dyfuzji  $\text{CO}_2$  oraz szybkości przeobrażenia wodorotlenku wapnia zawartego w roztworze wodnym w węglan wapnia.

Klasa XD i XS – korozja spowodowana chlorkami. Chlorki należą do bardzo silnych depasowatorów, zawsze powodujących korozję stali. Działania chlorków na betony z reguły wynikają ze stosowania soli do odladzania oraz występowania wód kopalnianych, a także środowiska morskiego. Sole chlorkowe łatwo rozpuszczają się w wodzie, co w nasyconych roztworach porach betonów umożliwia łatwe ich przepływy. Gdy stężenie chlorków rozpuszczonych w cieczy porowej osiągnie w pobliżu zbrojenia wartości krytyczne, rozpoczyna się szybko postępująca korozja stali wewnątrz elementów żelbetonowych zbiorników.

Klasa XF – agresja spowodowana zamrażaniem/rozmarzaniem. Zwiększenie objętości wody znajdującej się w porach betonu podczas cyklicznego zamrażania i rozmrażania konstrukcji nasyconych wodą powodują uszkodzenia struktur betonów, a w konsekwencji ich spękania, zarysowania, łuszczenia.

Klasa XA – agresja chemiczna. Uszkodzenia betonów najczęściej powodują środowiska ciekłe zawierające składniki agresywne chemicznie, np. podziemne części konstrukcji zbiorników narażone na oddziaływanie wód gruntowych. Można wyróżnić trzy rodzaje mechanizmów niszczących konstrukcje zbiorników:

- ługowanie wywołane przepływem bardzo miękkiej wody, która zawiera mało soli rozpuszczalnych: wylugowywanie wodorotlenku wapniowego powoduje rozkład uwodnionych związków stanowiących strukturę betonu w elementach zbiorników;
- korozja kwasowa spowodowana reakcją roztworów kwasów lub kwaśnych soli ze składnikami betonu w elementach zbiorników,
- tworzenie w porach betonu soli znacznie zwiększających objętość podczas ich krystalizacji.

Zbiorniki oczyszczalni ścieków, podobnie jak kanały ściekowe, osadniki i inne otwarte zbiorniki narażone są również na korozję biologiczną. Mogą tutaj występować działania bakterii siarkowych utleniających siarkowodory i tworzących kwas siarkowy. Siarkowodory mogą także w sposób bezpośredni reagować z wapniowymi składnikami betonów. Zakwaszone powierzchnie betonów najczęściej sprzyjają rozwojowi acidofilnych bakterii przy  $\text{pH}$  2–3, zwanych „pożeraczami betonu” [6]. Wilgotne powierzchnie elementów z betonu mogą być także porośnięte roślinnością zasiedlaną przez mikroorganizmy, które często działają agresywnie w stosunku do betonów.

Ponadto powierzchnie betonów w kanałach i zbiornikach przepływowych mogą być narażone na ścieranie, więc również pod tym względem powinny być zabezpieczone materiałowo-strukturalnie i/lub powierzchniowo.

Oczywistym jest, że środowisko wywiera na konstrukcję bardziej agresywny wpływ w przypadku, gdy betony są zarysowane i niezabezpieczone.

Należy jednak pamiętać, że korozja betonów jest tylko jedną

z przyczyn zniszczenia konstrukcji betonowych i żelbetonowych zbiorników. Uszkodzenia betonów mogą powstać także na skutek przekroczenia naprężeń granicznych, zwiększenia obciążeń użytkowych, wystąpienia oddziaływań użytkowych, czy czynników mechanicznych (uderzenie, przeciążenie, osiadania budowli, wibracje etc.).

W artykule przedstawiono wpływ błędów projektowych, realizacyjnych i eksploatacyjnych na korozję betonów i na zagrożenia bezpieczeństwa zbiorników w oczyszczalniach ścieków, a także zasady wykonywania i odbioru robót żelbetonowych zbiorników w oczyszczalniach ścieków.

## 2. Ogólna charakterystyka zbiorników

Zbiorniki na materiały płynne mogą być wykonywane jako:

- podziemne,
- powierzchniowe – spoczywające bezpośrednio na gruncie lub częściowo zagłębione,
- nadziemne – ustawiane na słupach albo innych konstrukcjach pracujących niezależnie od konstrukcji zbiornika lub umieszczane na wieżach.

Z uwagi na kształt geometryczny zbiorniki mogą być o rzucie prostokątnym, wielobocznym lub o kształcie bryły obrotowej. Mogą być wykonywane jako całkowicie monolityczne, całkowicie prefabrykowane (poza dnem) bądź też o konstrukcji mieszanej, częściowo monolitycznej, a częściowo prefabrykowanej.

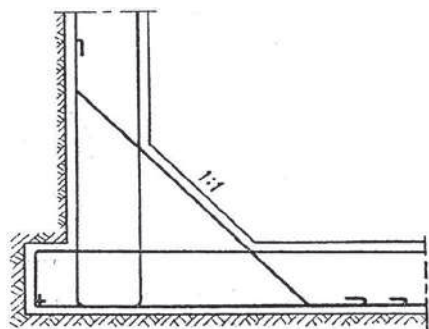
W oczyszczalniach ścieków najczęściej stosuje się zbiorniki o przekroju kołowym lub prostokątnym, częściowo zagłębione. Istotnym problemem jest zapewnienie ich szczelności, gdyż ubytek magazynowanej cieczy powoduje nie tylko straty bezpośrednie, ale również może doprowadzić do awarii zbiornika (przesączająca się woda wpływa destrukcyjnie na podłoże, na zanieczyszczenie środowiska).

Zbiorniki o przekroju kołowym są konstrukcjami bardziej ekonomicznymi niż zbiorniki o rzucie prostokątnym, gdyż ich boczne ściany, a niekiedy i przekrycie oraz dno (co jest zależne od ich typu) pracują najczęściej na rozciąganie lub ściskanie osiowe. Momenty zginające powstające na skutek zaburzeń brzegowych są tu zazwyczaj niewielkie i mają mały zasięg działania [7]. Niemniej jednak, gdy technologia wymaga znacznej liczby zbiorników połączonych ze sobą lub obok siebie, korzystniejsze jest stosowanie zbiorników prostokątnych (lepsze wykorzystanie miejsca, łatwiejsze połączenia zbiorników).

W zbiornikach prostokątnych:

- przekrycia – stanowią najczęściej płyty (przy małych wymiarach zbiorników), konstrukcje płytowo-żebrowe (bez słupów środkowych lub z nimi) albo stropy grzybkowe; przekrycia mogą być monolityczne lub prefabrykowane;
- ściany boczne – mogą być połączone z dnem w sposób sztywny albo przegubowy lub też oddzielone od dna szczeliną dylatacyjną; grubości ścian niskich są z reguły stałe na ich wysokości, a wyższych – o przekroju trapezowym o grubości zwiększającej się ku dołowi lub o skokowo zmieniającej się grubości; przy dużych powierzchniach ścian stosuje się pionowe żebra usztywniające;

- dna – z reguły są to płaskie płyty; przy posadowieniu na słabym gruncie, grubej warstwie gruntu nasypowego lub obecności wody gruntowej o znacznym parciu hydraulicznym – stosuje się odwrócone stropy płytowo-żebrowe lub grzybkowe, rzadziej odwrócone sklepienia cylindryczne lub tarczownicowe.



**Rys. 1.** Schemat sztywnego połączenia bocznej ściany zbiornika z płytą denną [7]

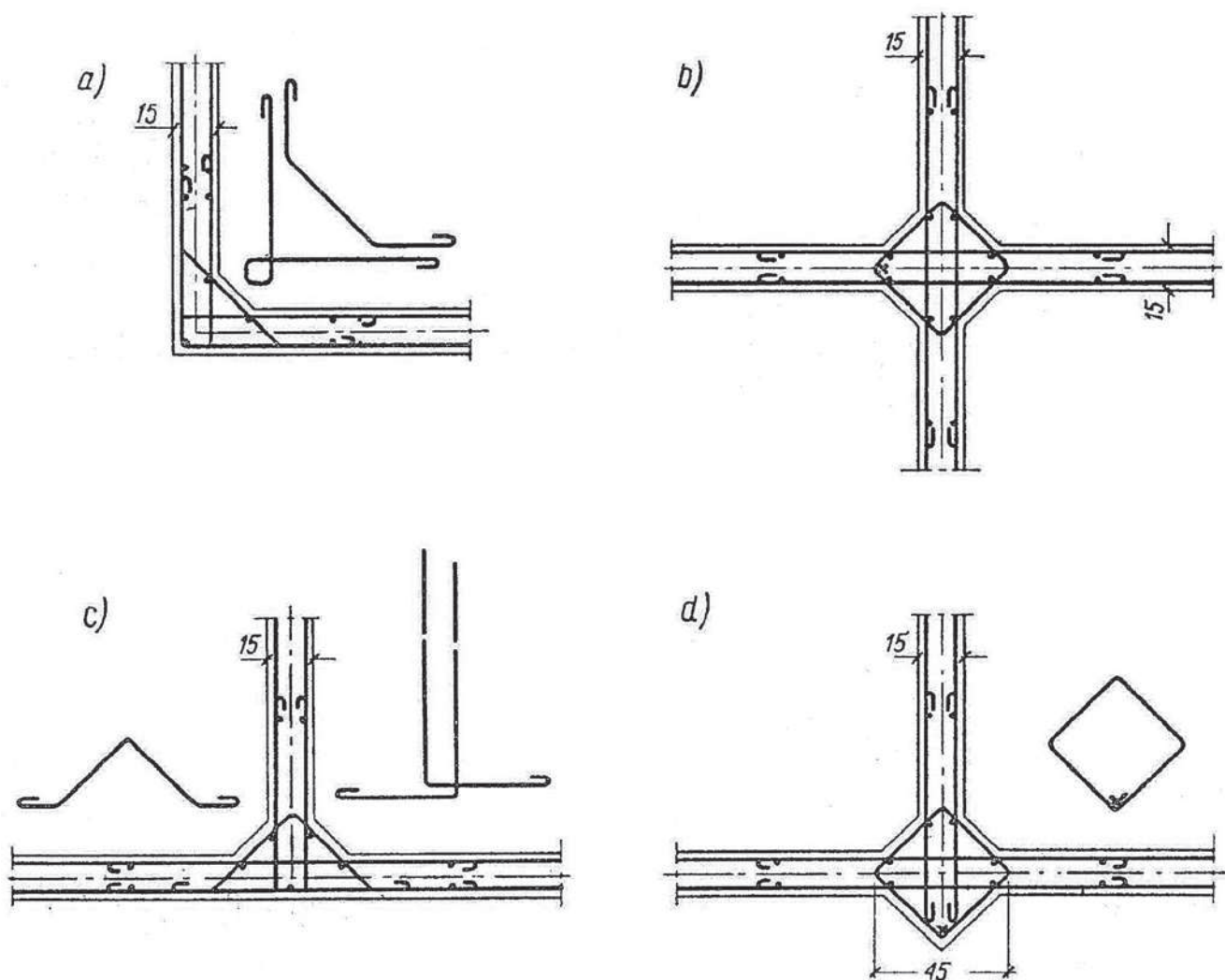
Zbiorniki prostokątne o mniejszych wymiarach z zasady wykonuje się jako monolityczne niesprężone. Sprężenie stosuje się jedynie w zbiornikach o dużych wymiarach, przy czym spręża się fragmenty konstrukcji (np. prefabrykowane przekrycia) lub spręża się całą konstrukcją (dno, ściany i przekrycie). Sprężenia wykonuje się z zasady za pomocą kabli.

Powierzchnie zbiorników o przekroju kołowym są utworzone przez obrót tworzących (prostej, krzywej lub łamanej) dookoła osi pionowych. Mogą to być zbiorniki jedno-, dwu- lub wielokomorowe.

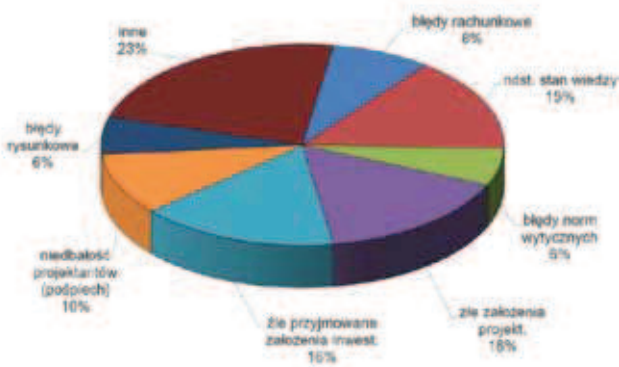
Zbiorniki dwukomorowe są wygodne w eksploatacji; przy opróżnianiu jednej z komór (w celu oczyszczenia lub naprawy) możliwe jest korzystanie z drugiej komory.

W zbiornikach o przekroju kołowym:

- przekrycia zbiorników – stanowią zazwyczaj cienkościennie monolityczne lub prefabrykowane powłoki kopułowe, kopuły monolityczne lub prefabrykowane, zazwyczaj z elementów typu panwiowego;
- ściany walcowe (boczne) – zazwyczaj monolityczne; ze względu na to, że ściany te podlegają dość dużym rozciąganiom, dlatego też często są sprężane strunami lub kablami.



**Rys. 2.** Typowe zbrojenie pionowych naroży zbiorników prostokątnych o zbiegających się ścianach: a) dwóch, b) czterech, c) i d) trzech [7]



**Rys. 3.** Przyczyny wpływu błędów programowych i projektowych na zagrożenia, awarie i katastrofy zbiorników w latach 1962–2016



**Rys. 4.** Przyczyny wpływu błędów wykonawstwa na zagrożenia, awarie i katastrofy zbiorników w latach 1962–2016

Niesprężone ściany walcowe łączy się z konstrukcjami dennymi zazwyczaj monolitycznie, przy czym połączenia te traktuje się jako utwierdzenie sprężyste. Natomiast walcowe ściany sprężone mogą opierać się na konstrukcjach dennych w sposób przesuwany, aby sprężenie nie spowodowało dodatkowych momentów zginających;

- dna zbiorników – z reguły są to płaskie płyty; gdy grunty, na których posadawia się zbiorniki, są odpowiedniej nośności, wówczas, przy braku wody gruntowej, najwłaściwiej jest wykonać pierścieniowe fundamenty (na poziomie płyty dennej) monolitycznie związane ze ścianami bocznymi; płyty denne mogą być wówczas oddzielone od fundamentów szczelinami dylatacyjnymi.

Typowy schemat sztywnego połączenia bocznej ściany zbiornika z płytą denną pokazano na rysunku 1, a typowe zbrojenie pionowych naroży zbiorników prostokątnych – na rysunku 2.

### 3. Błędy popełniane podczas projektowania i wykonywania zbiorników

Destrukcyjnym zbiorników w oczyszczalniach ścieków sprzyjały błędy popełniane podczas projektowania, wykonawstwa i eksploatacji [8]. Wieloletnie analizy wpływu tych błędów na zagrożenia, awarie i katastrofy zbiorników żelbetowych pokazano na rysunkach 3 i 4.

Do najczęściej popełnianych błędów inwestycyjnych (technicznych i organizacyjnych), występujących w procesie **programowania i projektowania** zbiorników, które miały wpływ na awarie i katastrofy, należy zaliczyć:

- niedostateczne i błędne rozpoznania podłoża gruntowego oraz warunków wodno-gruntowych pod zbiorniki, szczególnie na terenach podgórskich i gruntach niejednorodnych,
- błędne ustalenia dopuszczalnych obciążeń przekazywanych na grunt i dopuszczalnych osiadań zbiorników w różnych warunkach środowiskowych,
- złe fundamentowanie oraz niewłaściwe ich projektowanie bez uwzględnienia współpracy konstrukcji z podłożem gruntowym,
- nieprzestrzeżenie lub błędne interpretacje norm, ocen/aprobat technicznych, wytycznych, instrukcji dla projektowanych

zbiorników, z uwzględnieniem zmiennych właściwości podłoża,

- błędy inżynierskie i techniczne przy projektowaniu,
- nieodpowiednie lub błędne dobieranie technologii wykonania, rodzajów materiałów i wyrobów.

**W procesie wykonawstwa** zbiorników błędami takimi były:

- zmiany warunków i rodzajów fundamentowania realizowanych zbiorników,
- braki dostatecznych kontrolnych badań gruntu przed rozpoczęciem budowy zbiorników,
- niedostateczna jakość wbudowywanych betonów, materiałów budowlanych, elementów i wyrobów odpornych na zmienne warunki środowiskowe,
- wbudowywanie uszkodzonych wyrobów, elementów oraz złych materiałów,
- złe wykonywanie połączeń elementów budowlanych,
- niedostateczne kontrole jakości materiałów i wyrobów oraz niewłaściwe kontrole międzyoperacyjne,
- niedotrzymywanie zasad sztuki budowlanej oraz niedostateczne nadzory techniczne,
- wpływy zagrożeń atmosferycznych w czasie realizacji zbiorników,
- niedostateczne współprace wykonawców z projektantami.

### 4. Wymagania wykonawcze zbiorników

Podstawowe wymagania wykonawcze zbiorników żelbetowych podane zostały w normie [9] i wytycznych ITB [10]. Obejmują one m.in. wymagania w zakresie sprzętu i urządzeń, wytyczne wykonywania rusztowań i deskowań, zbrojenia i betonowania.

#### 4.1. Sprzęt i urządzenia

Do wykonywania zbiorników monolitycznych należy stosować sprzęt zapewniający prawidłowy transport mieszanek betonowych, ich ułożenie w deskowaniach i prawidłowe zagęszczenie. Wyposażenie w sprzęt i urządzenia powinno być określone w projekcie organizacji robót budowlanych na danym obiekcie, a w przypadku wykonywania niewielkich zbiorników – ustalane przez kierownika budowy.

#### 4.2. Wytyczne wykonywania robót

Do wykonania robót betonowych o złożonym charakterze (np. fundamentów masywnych o skomplikowanym zbrojeniu), z betonów o ściśle określonych parametrach technicznych, zaleca się opracowywanie szczegółowych wytycznych lub instrukcji technologicznych, w uzgodnieniu z właściwą jednostką naukowo-badawczą.

W przypadku wykonywania robót betonowych w okresie obniżonych temperatur należy postępować zgodnie z instrukcją [11], ze szczególnym uwzględnieniem minimalnych temperatur mieszanek w miejscu wbudowywania oraz sposobów zabezpieczania mieszanek na działanie niskich temperatur w okresie ich wiązania.

#### 4.3. Rusztowania i deskowania

Deskowania ścian powinny być zaprojektowane w zależności od obciążeń parciem mieszanek betonowych, zmiennych na wysokościach deskowań i parametrów technologicznych. Betonowania ścian powinny być wykonywane warstwowo, z kontrolowanymi prędkościami, odpowiednio do wytrzymałości deskowań i parcia określonego w projekcie, z uwzględnieniem odkształceń płyt deskowań systemowych.

Rusztowania podtrzymujące deskowania powinny być wykonywane zgodnie z projektami w taki sposób, aby mogły przetrzymać obciążenia wywołane masą:

- własną oraz sprzętu do robót betonowych,
- układanych mieszanek betonowych, z uwzględnieniem obciążeń dynamicznych powstających podczas betonowania (spadanie mieszanek z wysokości, parcia wywołane zagęszczeniem mieszanek),
- zbrojenia konstrukcji,
- robotników zatrudnionych przy betonowaniu.

Wykonane deskowania i rusztowania powinny zachowywać sztywność i niezmienność wymiarów zarówno w trakcie montażu, układaniu zbrojenia, betonowania, dojrzewania mieszanek betonowych i rozdeskowania. Deskowania powinny być szczelne i zabezpieczone przed wyciekaniem zapraw cementowych z mieszanek.

W trakcie układania mieszanek betonowych należy obserwować zachowanie rusztowań, a w razie potrzeby dokonywać pomiarów ich odkształceń. Jeżeli odkształcenia przekroczą wartości dopuszczalne, roboty betonowe należy przerwać, ustalić i usunąć przyczyny odkształceń.

Usunięcie rusztowań i deskowań konstrukcji zbiorników może nastąpić wtedy, gdy betony osiągną wytrzymałości określone w projektach, stwierdzone na próbkach przechowywanych w warunkach zbliżonych do warunków dojrzewania betonów w konstrukcjach lub określone nieniszczącymi metodami badań.

#### 4.4. Zbrojenie elementów zbiorników

Ustawianie lub układanie zbrojenia w elementach powinno przebiegać według wcześniej ustalonej kolejności tak, aby ułożone już elementy umożliwiały dalszy montaż zbrojenia. Do układania zbrojenia można przystąpić dopiero po sprawdzeniu i odbiorze deskowań. Zbrojenia powinny być usytuowane w sposób zabezpieczający przed uszkodzeniami

i przemieszczeniami podczas podawania mieszanek betonowych i ich zagęszczaniu. Pręty, siatki i szkielety powinny być układane w deskowaniach tak, aby grubości otulin wraz z tolerancjami wykonania otulin i usytuowania zbrojenia odpowiadały przyjętym w projekcie.

#### 4.5. Betonowanie – układanie i zagęszczanie mieszanek betonowych

Do betonowania można przystąpić po stwierdzeniu prawidłowości wykonania:

- deskowań, rusztowań, usztywnień, pomostów itp.,
- zbrojenia elementów,
- robót zanikających, np. warstw dylatacyjnych, oraz po
- przygotowaniu powierzchni betonów wcześniej ułożonych, np. w miejscach przerw roboczych,
- rozmieszczeniu i zamocowaniu elementów stabilizujących zbrojenie, armaturę itp.

W czasie betonowania należy obserwować prawidłowość kształtu deskowań i rusztowań konstrukcji. Szybkość i wysokość wypełniania deskowań mieszanek betonowych powinny być określone w zależności od wytrzymałości i sztywności deskowań przejmujących parcia układanych mieszanek. Mieszanki betonowe powinny być dostarczane na miejsce ułożenia w sposób ciągły przy maksymalnym zmechanizowaniu ich transportu i układania. W trakcie układania i zagęszczania mieszanki betonowe nie powinny ulegać segregacji.

Przerwy robocze w betonowaniu powinny znajdować się w miejscach przewidzianych w projektach, w miejscach najmniejszych wyteżeń eksploatacyjnych. Powierzchnie betonów w miejscach przerw roboczych powinny być prostopadłe do kierunków naprężeń głównych.

Ściany zbiorników powinny być betonowane odcinkami o wysokościach nie przekraczających 3 m i z pionowymi przerwami roboczymi na długości ze względu na odkształcenia skurczowe. Wszystkie powierzchnie świeżo ułożonych betonów powinny być poddawane pielęgnacji w sposób podany w projekcie oraz w wymaganiach [10].

Usunięcia deskowań konstrukcji mogą być dokonane po osiągnięciu przez beton odpowiednich wytrzymałości, w terminach i w sposób podany w projektach i indywidualnych wymaganiach.

#### 5. Kontrola wykonania konstrukcji zbiorników

Badania odbiorcze konstrukcji zbiorników powinny obejmować:

- materiały i wyroby,
- zbrojenia i elementy stalowe,
- deskowania i rusztowania,
- przygotowania mieszanek betonowych, ich ułożenia, zagęszczenia i pielęgnacji,
- wykonania elementów konstrukcji.

Odbiory robót zanikających powinny być przeprowadzane w trakcie wykonywania robót (odbioru częściowe). Odbiory końcowe zbiorników powinny uwzględniać wyniki odbiorów częściowych ze szczególnym zwróceniem uwagi na to, czy

zalecenia zawarte w protokołach odbiorów częściowych (jeżeli takie były) zostały w pełni wykonane.

Kontrolę wykonania betonów przeprowadza się:

- przy ich dostawie z wytwórni na budowę – przez wykonawcę betonu towarowego i wykonawcę zbiornika,
- przy wykonywaniu elementów na terenie budowy – zgodnie z projektem i polskimi normami.

Kontrolę jakości betonu w wykonanych konstrukcjach zbiorników przeprowadza się za pomocą sprawdzonych i wiarygodnych metod nieniszczących lub innych uzgodnionych z nadzorem technicznym i inwestorem.

Stale zbrojeniuowe dostarczane na budowę powinny odpowiadać wymaganiom odpowiednich polskich norm, ocen technicznych oraz warunków wykonania i odbioru, np. [12].

Dokumentację techniczną kontroli jakości betonów i stali powinny zawierać wszystkie wyniki badań przewidziane planami kontroli.

Badania materiałów i wyrobów powinny być przeprowadzane na podstawie zapisów w dzienniku budowy, zaświadczeń producentów i dokumentów dopuszczających je do obrotu.

Sprawdzenie prawidłowości wykonania deskowań i rusztołów powinno być dokonywane przez pomiary odpowiednimi i wiarygodnymi instrumentami geodezyjnymi. Badanie zbrojenia ustawionego w deskowaniach na zgodność z projektami powinno być dokonywane przed rozpoczęciem betonowania i powinno obejmować sprawdzenie wymiarów prętów, ich położenia, miejsc mocowania skrzyżowań i stabilizacji prętów. Podczas betonowania mieszanki betonowe powinny być kontrolowane na bieżąco.

## 6. Odbiory robót zbiorników żelbetowych

### 6.1. Dokumenty stanowiące podstawę odbiorów końcowych

Podczas odbioru końcowego zbiorników powinny być przedstawione:

- rysunki robocze z naniesionymi wszystkimi zmianami, jakie zostały zatwierdzone w czasie budowy, wraz z dokumentami stwierdzającymi uzgodnienia dokonanych zmian,
- dzienniki budowy,
- wyniki badań kontrolnych betonów,
- protokoły odbiorów:
  - fundamentów i ich podłoża,
  - deskowań przed rozpoczęciem betonowania,
  - zbrojenia przed ich zabetonowaniami,
- protokoły z pośrednich odbiorów elementów konstrukcji lub robót zanikających,
- dokumenty przewidziane w dokumentacjach technicznych lub związane z procesami budów, mającymi wpływ na udokumentowanie jakości wykonania zbiorników.

### 6.2. Badania elementów i konstrukcji zbiorników stanowiące podstawę odbiorów końcowych

Podczas odbiorów końcowych wykonania zbiorników sprawdzeniu i ocenie powinny być poddane:

- wymiary zbiorników w rzucie poziomym i ich rzędne wysokościowe,

- cechy geometryczne elementów konstrukcji oraz zgodność z projektami usytuowań otworów i kanałów, ustawienia części zabetonowanych, wykonania szczelin dylatacyjnych itp.,

- jakość betonów pod względem ich zagęszczenia i jednolitej struktury, na podstawie oględzin powierzchni betonów, badań normowych lub dodatkowo za pomocą badań nieniszczących.

Sprawdzenia wymiarów poziomych konstrukcji zbiorników i ich rzędnych wysokościowych oraz cech geometrycznych elementów konstrukcji zbiorników powinny być wykonywane zgodnie z PN-ISO 3443-8 [13]. Odchyłki wykonania konstrukcji nie powinny być większe niż ich wartości dopuszczalne podane w PN-EN 13670 [9] i ustalone w projekcie.

Łączna powierzchnia ewentualnych pojedynczych ubytków na powierzchniach betonów elementów (raków, porów, wżerów, pęcherzy) nie powinna być większa niż 2% całkowitej powierzchni danego elementu. Ubytki lokalne o wymiarach od 2 mm do 15 mm nie powinny obejmować więcej niż 3% przekroju danego elementu, odnosząc do powierzchni nie mniejszej niż 0,1 m<sup>2</sup>.

Zbrojenia główne nie powinny być odsłonięte.

## 7. Wnioski

Zasady wykonywania i odbioru konstrukcji zbiorników żelbetowych powinny być szczegółowo określone w specyfikacjach technicznych i zgodne z normami i wytycznymi. Ścisłe przestrzeganie podanych tam zaleceń i wymagań zapewni wykonywanie żelbetowych zbiorników o wymaganej jakości i niezawodności oraz trwałości, zgodnie z oczekiwaniami inwestorów.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Runkiewicz L., Raporty okresowe o zagrożeniach, awariach i katastrofach budowlanych, Biblioteka ITB, 1963–2017
- [2] PN-EN 1992-3 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze
- [3] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T., Ocena stanu technicznego konstrukcji żelbetowych pod względem trwałości, XII Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego, Kielce-Cedzyna, 2012, str. 153–171
- [4] PN-EN 206 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [5] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Tom 2: Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa, 2011
- [6] Słomka-Słupik B., Zbiorniki na nieczystości płynne. Korozja. Zabezpieczenia, Izolacje 5/2017
- [7] Kobiak J., Stachurski W., Konstrukcje żelbetowe, Arkady 1979
- [8] Runkiewicz L., Sieczkowski J., Zagrożenia środowiskowe powodowane błędami inwestycyjnymi, w pracy zbiorowej pt. Ekologia a budownictwo pod redakcją Runkiewicza L. i Błaszczyskiego T., Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2016, str.137–149
- [9] PN-EN 13670 Wykonywanie konstrukcji z betonu
- [10] Runkiewicz L., Sieczkowski J., Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Seria pt. Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, zeszyt A5, ITB, Warszawa, 2017
- [11] Praca zbiorowa pt. Wykonywanie robót budowlanych w okresie obniżonej temperatury. Seria Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 282/2011, ITB, Warszawa, 2011
- [12] Zakrzewski St., Więch P., Zbrojenie konstrukcji żelbetowych. Zeszyt A6 w serii Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych, ITB, Warszawa, 2018
- [13] PN-ISO 3443-8 Tolerancje w budownictwie. Kontrola wymiarowa robót budowlanych