

***Ekspertyza stanu technicznego żelbetowych zbiorników  
na wodę pitną przeznaczoną do spożycia***

***Cz.1 – ZBIORNIK NR 1***

**BRANŻA: KONSTRUKCYJNO-BUDOWLANA**

**Zamawiający: Pniewskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o.  
ul. Wspólna 6  
62-045 Pniewy**



**ppk-pniewy.pl**

<b>Autorzy:</b>	<b>dr inż. Tomasz Abel</b>	
	<b>dr inż. Leszek Wysocki</b>	

**Wrocław, grudzień 2019**

**SPIS TREŚCI**

1.	Podstawa opracowania.....	2
2.	Cel i zakres opracowania.....	2
3.	Materiały wykorzystane w opracowaniu.....	2
4.	Ogólny opis konstrukcji przedmiotowych obiektów.....	4
5.	ZBIORNIK NR 1.....	5
5.1.	Przegląd stanu technicznego.....	5
5.2.	Badanie konstrukcji zbiornika.....	11
5.2.1.	Lokalizacja i identyfikacja zbrojenia.....	11
5.2.2.	Badania wytrzymałości betonu na ściskanie metoda sklerometryczną.....	12
5.2.3.	Badania wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie).....	17
5.2.4.	Ocena stopnia karbonatyzacji (neutralizacji) betonu.....	19
5.3.	Analiza stanu technicznego.....	22
5.4.	Wnioski końcowe.....	23
5.5.	Zalecenia.....	23

## 1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi zlecenie z dnia 14.11.2019 roku. Wykonanie zadania zleczone zostało przez Pniewskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o. z siedzibą w Pniewach, ul. Wspólna 6. Wykonawcą prac jest Tomasz Abel prowadzący działalność gospodarczą pod nazwą Biuro Inżynierskie AXIS Tomasz Abel, z siedzibą we Wrocławiu, przy ul. Wambierzyckiej 16/9.

## 2. Cel i zakres opracowania

Celem opracowania jest:

- inwentaryzacja stanu technicznego istniejących zbiorników (patrz rys. nr 1 - plan sytuacyjny),
- wykonanie wszelkich niezbędnych w tym celu pomiarów, badań i odkrywek,
- analiza przyczyn powstania uszkodzeń oraz sposobu ich usunięcia,
- przedstawienie wniosków z ekspertyzy, zaleceń oraz wytycznych w zakresie niezbędnych prac remontowych.

## 3. Materiały wykorzystane w opracowaniu

[3.1]PN-B-03264: 2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.

[3.2]PN- EN 206 – 1 Beton część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

[3.3]PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.

[3.4]PN-EN 1542: 2000: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie.

[3.5]Czarnecki L., Emmons P.: Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. Polski Cement 2003.

[3.6]PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

[3.7]PN-EN 1992-3:2008. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze.

[3.8]Elementy projektu zbiornika opracowanego przez Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Poznaniu w grudniu 1986 roku.

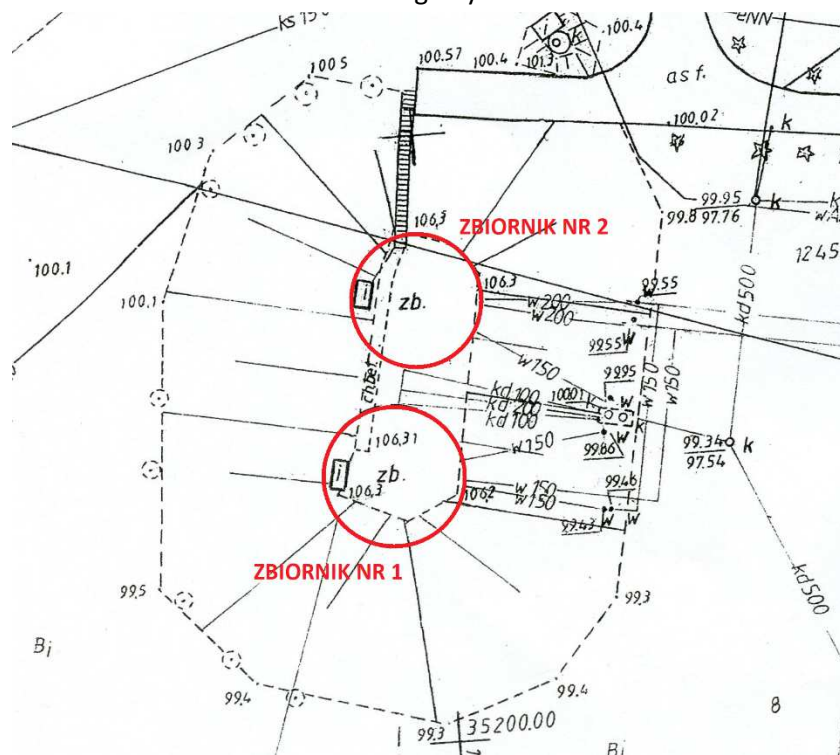
[3.9]PN-EN 1990: 2004 / A1:2008. Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.

#### 4. Ogólny opis konstrukcji przedmiotowych obiektów

Przedmiotowe zbiorniki zlokalizowane są w miejscowości Pniewy, ich użytkownikiem jest Pniewskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o. Zbiorniki są żelbetowe, cylindryczne o pionowych ścianach zewnętrznych oraz posiadają środkową podporę w postaci słupa centralnego. Konstrukcje posiadają płaską płytę denną oraz prefabrykowane stropy płytowe ułożone na żebrach. Zbiorniki, posadowione są poniżej poziomu terenu (ok. 1,0m) i obsypane gruntem powyżej poziomu stropów.



Fot. 1. Widok ogólny zbiorników.



Dane dotyczące konstrukcji zbiorników:

- pojemność  $V = 500 \text{ m}^3$ ,
- średnica wewnętrzna  $D_w = 11,50 \text{ m}$ ,
- wysokość ściany  $H = 4,7 \text{ m}$ ,
- grubość ścian  $18 \text{ cm}$  (wg dokumentacji projektowej),
- zbiorniki wykonano jako monolityczne żelbetowe,
- drabiny wewnętrzne oraz pozostałe konstrukcje stalowe wykonano ze stali zwykłej,
- płaskie przykrycie prefabrykowanymi płytami żebrowymi opartymi na ścianie zewnętrznej i na żelbetowym słupie centralnym,
- wejścia do zbiorników są zabudowane.



Fot. 2. Widok ogólny wnętrza zbiornika – zbiornik nr 1.



Fot. 3. Widok płyty stropowej i słupa centralnego – zbiornik nr 1.



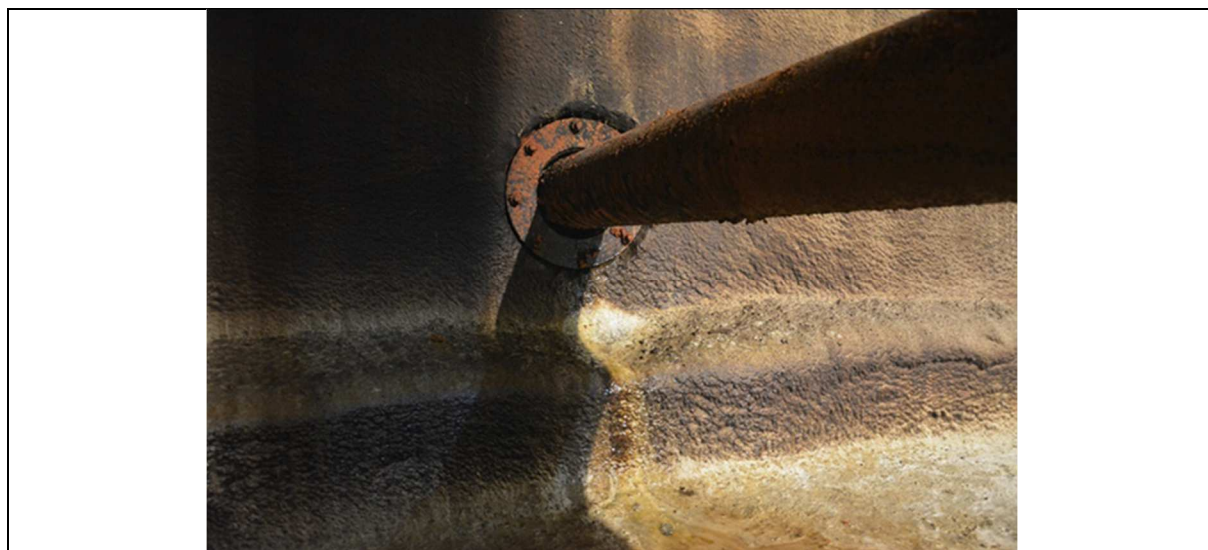
## 5. ZBIORNIK NR 1

### 5.1. Przegląd stanu technicznego

W wyniku przeprowadzonych w dniu 28 listopada 2019 roku oględzin zbiornika nr 1 stwierdzono, że jego aktualny stan techniczny uznać należy za niezadowalający, ale nie zagrażający w chwili obecnej bezpieczeństwu jego użytkowania.

Stwierdzono następujące usterki i nieprawidłowości:

- nieszczelności oraz korozja armatury,
- uszkodzona otulina płyty stropowej oraz prefabrykowanych żeber i korozja zbrojenia – uszkodzenia o znaczeniu konstrukcyjnym mogące prowadzić do awarii lub katastrofy,
- uszkodzenia ułożonej na fragmencie ścian zbiornika maty z włókna szklanego,
- licznie występujące na płycie dennej nacieki z żywicy,
- ściany zbiornika pokryte częściowo zużytą i uszkodzoną powłoką żywiczną,
- skorodowane drabiny oraz pozostałe stalowe elementy zejść do zbiornika,
- znaczne nierówności ścian i dna zbiornika.



Fot. 4. Widok fragmentu skorodowanego rurociągu wraz z nieszczelnym przejściem przez ścianę zbiornika – element poddany przez Użytkownika wymianie w grudniu 2019r. – w trakcie wykonania niniejszego opracowania.



Fot. 5. Widok żebra płyty stropowej – uszkodzenia otuliny, korozja zbrojenia.



Fot. 6. Głowica słupa centralnego wraz z fragmentami żeber - widoczne ogniska korozji zbrojenia oraz miejscowe ubytki otuliny betonowej.



Fot. 7. Fragment ściany zbiornika – powłoka żywiczna.

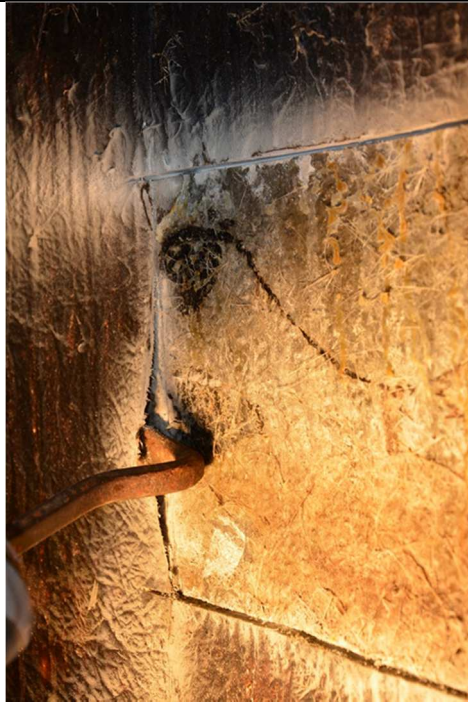


Fot. 8. Odsadzka ławy fundamentowej – nieprawidłowo ułożona mata z włókna szklanego, liczne zacieki żywicy, brak odpowiedniego wykończenia warstw żywicznych i połączenia ich z betonem.



Fot. 9. Widok fragmentu wykładziny z maty żywicznej – nieprawidłowy montaż, pofałdowania.





Fot. 10. Odsypająca się powłoka z włókna szklanego.



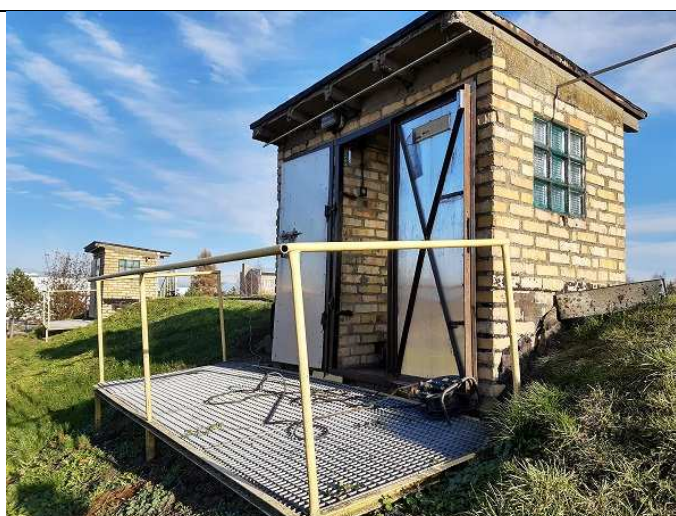
Fot. 11. Skorodowane elementy stalowe.



Fot. 12. Liczne zacieki z żywicy zastosowanej do zabezpieczenia ścian zbiornika.



Fot. 13. Pęknięcia i odspojenia maty z włókna szklanego. Liczne sfałdowania oraz uszkodzenia struktury wykładziny.



Fot. 14. Widok ogólny zabudowy wejścia do zbiornika – konstrukcja pomostu oraz część murowana wymagają kompleksowego remontu oraz częściowej wymiany.





Fot. 15. Uszkodzenia opierzeń blacharskich oraz izolacji.



Fot. 16. Pokrycie dachu wymaga wymiany, obróbki blacharskie wymagają odtworzenia.



Fot. 17. Chodnik wykonany z płyt betonowych uszkodzony – wymagana przebudowa z zastosowaniem nowej nawierzchni – np. kostka betonowa.

## 5.2. Badania konstrukcji zbiornika

W toku prowadzonych oględzin ustalono, że wewnętrzna powierzchnia ścian zbiornika częściowo pokryta jest matą z włókna szklanego nasączoną żywicą, ponadto znaczna powierzchnia ścian (patrz foto nr 7) pokryta jest powłoką żywiczną. Płyta denna posiada wylewkę betonową nadającą spadek w kierunku odpływów, na powierzchni tej wylewki widoczne są liczne zacieki żywicy pochodzące ze ścian. Strop żelbetowy bez powłok zabezpieczających, wykonany jako płaska płyta oparta na prefabrykowanych żebrach. W części centralnej zbiornika słup z głowicą – również bez dodatkowych powłok zabezpieczających. Ściany zewnętrzne pokryte powłoką bitumiczną (prawdopodobnie abizol) a na płycie stropowej ułożona warstwa papy. Ławy fundamentowe poszerzone z zewnątrz murowaną ścianką dociskową o wysokości 65 cm(zabezpieczenie izolacji), powyżej monolityczna część żelbetowa właściwej konstrukcji ścian zbiornika.

### 5.2.1. Lokalizacja i identyfikacja zbrojenia

Lokalizacji i identyfikacji zbrojenia oraz określenia grubości betonowej otuliny w konstrukcji zbiornika dokonano na dwa sposoby:

- w sposób nieniszczący - za pomocą metody elektromagnetycznej umożliwiającej lokalizację prętów zbrojeniowych oraz określenie głębokości ich położenia,
- wykonując punktowe odkrywki celem ustalenia średnicy prętów oraz ich stanu technicznego (korozja lub jej brak).

W toku prowadzonych badań ustalono, że w zbiorniku wykonana jest warstwa betonu natryskowego, tzw. torkretu o grubości 6 cm, zbrojonego jedną warstwą siatki zbrojeniowej oraz pojedynczymi prętami  $\phi 6\text{mm}$ .

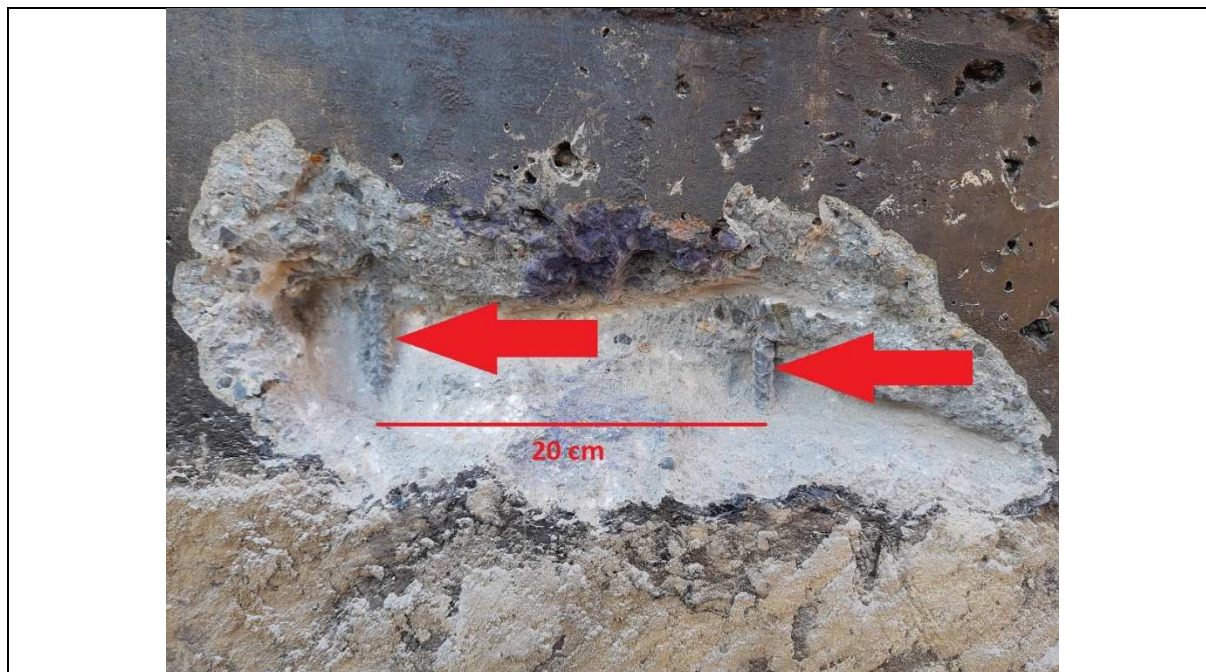


Fot. 18. Odkrywka punktowa – warstwa torkretu oraz zbrojenie w postaci siatki z prętów  $\phi 2,6\text{mm}$  w rozstawie 20 x 20 mm.



Od strony zewnętrznej, w miejscu prowadzonych robót ziemnych, wykonano jedną punktową odkrywkę w wyniku czego stwierdzono:

- żebrowane pręty zbrojeniowe konstrukcyjne  $\phi 10\text{mm}$  w rozstawie co 20cm,
- grubość otuliny wahającą się od 40 do 50 mm.



Fot. 19. Odkrywka punktowa – widoczne dwa konstrukcyjne pręty zbrojeniowe – stan bardzo dobry, brak ognisk korozji, otulina betonowa o grubości 40 – 50 mm.

### 5.2.2. Badania wytrzymałości betonu na ściskanie metodą sklerometryczną

Wytrzymałość betonu na ściskanie oszacowano metodą sklerometryczną. Badania wykonano dla warstwy torkretu oraz betonu konstrukcyjnego. Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono w sposób przybliżony, wykorzystując równanie regresji proponowane w Instrukcji ITB Nr 210 w postaci:

$$f_{c,oi} = 0.041 L^2 - 0.912 L + 7.3$$

oraz

$$f_{oi,spr} = f_{c,oi} \times 1.12 \times 0.60 = f_{c,oi} \times 0.67$$

gdzie:  $f_c$  – wytrzymałość kostkowa betonu na ściskanie [MPa]

L – wartość liczby odbicia [–]

Uzyskane wyniki należy traktować jako orientacyjne, ponieważ warunki techniczne, w jakich realizowane były pomiary, wykluczały możliwość eksperymentalnego zweryfikowania założonego równania regresji.

Pomiary sklerometryczne przeprowadzono za pomocą młotka Schmidta typu „N”, realizując je zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 1250-2: 2002 (*Badania betonu w konstrukcjach – Część 2: Badania nieniszczące – Oznaczenie liczby odbicia*) oraz wytycznymi zawartymi w Instrukcji ITB Nr 210 (*Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji*).

Sklerometr, wykorzystany w badaniach, poddano kontroli technicznej przed i po badaniach. Stwierdzono, że urządzenie było w pełni sprawne. Temperatura powietrza wynosiła w czasie badań około 10°C.

Do badań wybrano losowo 8 miejsc pomiarowych, a w każdym z tych miejsc pomiarowych wykonano 10 pomiarów sklerometrycznych.

Stan wilgotnościowy badanego betonu określono jako wilgotny, w związku, z czym, zgodnie z Instrukcją ITB Nr 210, w przeprowadzonej analizie wyników uwzględniono wpływ wilgotności betonu, przyjmując współczynnik poprawkowy równy 1.12. Ponieważ wiek betonu w chwili badania wynosił odpowiednio 30 lat > 3 lat, do obliczeń przyjęto, zgodnie z Instrukcją ITB Nr 210, współczynnik wieku równy 0.6.

Określenia wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu dokonano zgodnie z PN-EN 13791:2008 (*Ocena wytrzymałości na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych*). Norma ta stanowi, że w przypadku, kiedy mamy do dyspozycji od 3 do 14 wyników pomiaru wytrzymałości betonu w konstrukcji, wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie, odpowiadająca wytrzymałości oznaczanej na próbkach sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm ( $f_{ck, is, cube}$ ), jest, dla danego miejsca pomiarowego, mniejszą z dwóch poniższych wartości:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad \text{lub} \quad f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$$

gdzie:

$f_{m(n), is}$  – średnia wartość wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji uzyskana z „n” wyników jej pomiaru

$f_{is, lowest}$  – najmniejsza z uzyskanych wartości wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji

Zmienna „k” jest natomiast uzależniona od liczby wyników badań. Właściwą wartość przyjmuje się zgodnie z Tabelą 1.

**TABELA 1**

Zmienna „k” przy małej liczbie wyników badań

liczba wyników	wartość zmiennej „k”
od 10 do 14	5
od 7 do 9	6
od 3 do 6	7

Na podstawie tak uzyskanych wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie oszacowano klasę wytrzymałości badanego betonu, w rozumieniu betonowej normy konstrukcyjnej PN-B-03264:2002 (*Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*) oraz przyjętej dwa lata później poprawki (PN-B-03264: 2004/Ap1), która polską betonową normę konstrukcyjną dostosowała do nowej normy betonowej PN-EN 206-1:2003 (*Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*).

**TABELA 2**

Zestawienie wyników pomiarów sklerometrycznych dla warstwy torkretu.

miejsce pomiarowe	kąt	ODCZYT										L <sub>sr</sub> [ - ]	f <sub>c,oi</sub> MPa	θ	f <sub>oi,spr</sub> MPa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
<b>MP nr 1</b>	0°	40	41	41	44	43	47	46	45	40	43	43,0	43,89	0.67	<b>29,40</b>
<b>MP nr 2</b>	0°	41	40	40	45	41	40	41	45	43	42	41,8	40,81	0.67	<b>27,34</b>
<b>MP nr 3</b>	0°	45	45	45	44	47	48	50	50	49	48	47,1	55,30	0.67	<b>37,05</b>
<b>MP nr 4</b>	0°	43	43	45	43	48	49	45	45	50	48	45,9	51,82	0.67	<b>34,72</b>

Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie następujących parametrów charakteryzujących mechaniczne cechy badanego betonu:

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie  $f_{cm,is} = 32,12$  MPa
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości  $f_{is,lowest} = 27,34$  MPa

Oszacowanie klasy wytrzymałości badanego betonu.

Zgodnie z normą PN-EN 13791:2008 przyjęto, że wytrzymałość charakterystyczna badanego betonu, odpowiadająca wytrzymałości oznaczanej na próbkach sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm ( $f_{ck, is, cube}$ ), jest mniejszą z dwóch poniższych wartości:

$$f_{ck, is, cube} \leq f_{cm(n), is} - k \quad \text{i} \quad f_{ck, is, cube} \leq f_{is, lowest} + 4$$

gdzie:  $k = 7$ , dla liczby wyników pomiarów  $n = 4$

$$f_{ck, is, cube} \leq 32,12 - 7 = \mathbf{25,12 \text{ MPa}} \quad \text{oraz} \quad f_{ck, is, cube} \leq 27,34 + 4 = \mathbf{31,34 \text{ MPa}}$$

Na podstawie uzyskanych wyników badań, wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu (torkret) można przyjąć jako nie większą niż **25.12 MPa** i zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, oszacować jego klasę jako nie niższą niż **C20/25 (B25)**.

**TABELA 3**

Zestawienie wyników pomiarów sklerometrycznych dla betonu konstrukcyjnego (badania od strony wewnętrznej).

miejsce pomiarowe	kąt	ODCZYT										L <sub>sr</sub> [ - ]	f <sub>c,oi</sub> [MPa ]	θ [ - ]	f <sub>oi,spr</sub> [MPa ]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
MP nr 1	0°	40	38	39	40	40	36	40	38	40	40	39.1	34.32	0.67	<b>23.00</b>
MP nr 2	0°	38	40	40	38	40	40	40	38	40	40	39.4	35.01	0.67	<b>23.45</b>
MP nr 3	0°	40	40	38	36	40	40	38	38	40	40	39.0	34.10	0.67	<b>22.85</b>

Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie następujących parametrów charakteryzujących mechaniczne cechy badanego betonu:

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie  $f_{cm, is} = \mathbf{23.10 \text{ MPa}}$
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości  $f_{is, lowest} = \mathbf{22.85 \text{ MPa}}$

Oszacowanie klasy wytrzymałości badanego betonu.

Zgodnie z normą PN-EN 13791:2008 przyjęto, że wytrzymałość charakterystyczna badanego betonu, odpowiadająca wytrzymałości oznaczanej na próbkach sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm ( $f_{ck, is, cube}$ ), jest mniejszą z dwóch poniższych wartości:

$$f_{ck, is, cube} \leq f_{cm(n), is} - k \quad \text{i} \quad f_{ck, is, cube} \leq f_{is, lowest} + 4$$



gdzie:  $k = 7$ , dla liczby wyników pomiarów  $n = 3$

$$f_{ck, is, cube} \leq 23,10 - 7 = \mathbf{16.10 \text{ MPa}} \quad \text{oraz} \quad f_{ck, is, cube} \leq 22,85 + 4 = \mathbf{26.85 \text{ MPa}}$$

Na podstawie uzyskanych wyników badań, wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu można przyjąć jako nie większą niż **16.10 MPa** i zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, oszacować jego klasę jako nie niższą niż **C12/15 (B15)**.

**TABELA 4**

Zestawienie wyników pomiarów sklerometrycznych dla betonu konstrukcyjnego (badania od strony zewnętrznej).

miejsce pomiarowe	kąt	ODCZYT										$L_{sr}$	$f_{c,oi}$	$\theta$	$f_{oi,spr}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
MP nr 1	0°	38	40	40	36	40	40	40	38	40	40	39.2	34.55	0.67	<b>23.15</b>

Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie następujących parametrów charakteryzujących mechaniczne cechy badanego betonu:

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie  $f_{cm, is} = \mathbf{23.15 \text{ MPa}}$
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości  $f_{is, lowest} = \mathbf{23.15 \text{ MPa}}$

#### Oszacowanie klasy wytrzymałości badanego betonu.

Zgodnie z normą PN-EN 13791:2008 przyjęto, że wytrzymałość charakterystyczna badanego betonu, odpowiadająca wytrzymałości oznaczanej na próbkach sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm ( $f_{ck, is, cube}$ ), jest mniejszą z dwóch poniższych wartości:

$$f_{ck, is, cube} \leq f_{cm(n), is} - k \quad \text{i} \quad f_{ck, is, cube} \leq f_{is, lowest} + 4$$

gdzie:  $k = 7$ , dla liczby wyników pomiarów  $n = 3$

$$f_{ck, is, cube} \leq 23,15 - 7 = \mathbf{16.14 \text{ MPa}} \quad \text{oraz} \quad f_{ck, is, cube} \leq 23.15 + 4 = \mathbf{27.15 \text{ MPa}}$$

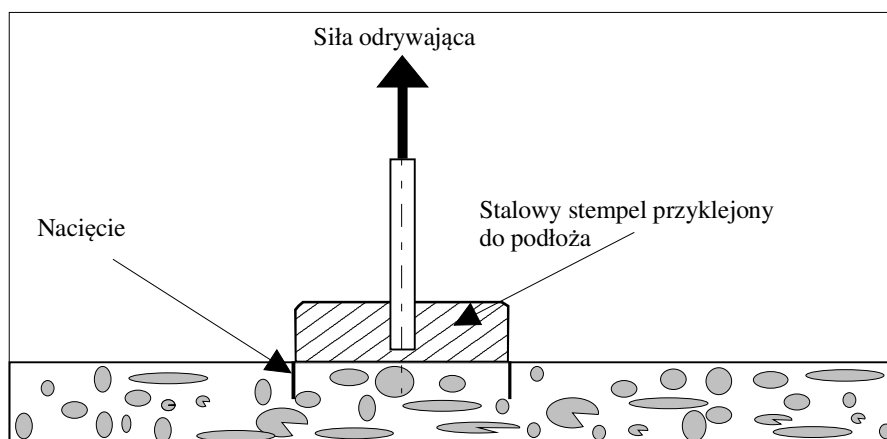
Na podstawie uzyskanych wyników badań, wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu można przyjąć jako nie większą niż **16.14 MPa** i zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, oszacować jego klasę jako nie niższą niż **C12/15(B15)**.

**Wnioski:**

Przeprowadzone badania sklerometryczne potwierdziły przyjęte w projekcie parametry wytrzymałościowe betonu. Beton  $R_w = 200$  at odpowiada współczesnemu równoważnikowi o oznaczeniu C12/15 (poprzednio B15).

**5.2.3. Badania wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie)**

Badania wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie) przeprowadzono metodą „pull-off”, zgodnie z PN-EN 1542: 2000. Pomiary zrealizowano za pomocą urządzenia o nazwie „DYNA” wykorzystując metalowe krążki o średnicy 50 mm. Zastosowana metoda pomiarowa („pull-off”) polega na pomiarze siły odrywającej przyklejony do badanej powierzchni metalowy krążek o znanej powierzchni (rys. 2)



Rys. 2. „Pull-off” – istota metody

Wokół krążka wykonuje się centryczne nacięcie na głębokość około 10-15 mm. Rejestrowana wartość siły odrywającej, podzielona przez powierzchnię, na którą przekazywane jest obciążenie, daje wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie, nazywaną także wytrzymałością na odrywanie.

Zgodnie z wytycznymi odnośnie wymagań stawianych nawierzchni betonowej, które warunkują możliwość wykonania na niej nowoczesnych napraw powierzchniowych, np. w postaci materiałów typu PCC, w omawianym przypadku przyjęto, że wymagane jest spełnienie następujących warunków:

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie winna być nie niższa niż 20 MPa,
- średnia wartość wytrzymałości na odrywanie, określona w danym miejscu pomiarowym, winna być nie niższa niż 1.5 MPa.
- minimalna wartość wytrzymałości na odrywanie, określona w danym miejscu pomiarowym, winna być nie niższa niż 1.0 MPa.

Oceny wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie) dokonano na podstawie wyników badań, uzyskanych metodą „pull-off”. Badania obejmowały wykonanie pomiarów w losowo wybranych fragmentach badanego zbiornika. Szczegółowe wyniki tych badań zestawiono w tabeli 5. We wszystkich przypadkach stwierdzono przełom w przekroju betonowym.

**TABELA 5**

Wytrzymałość warstwy betonu natryskowego (torkret).

	Bezpośredni odczyt siły odrywającej [kN]	Wytrzymałość na odrywanie [MPa]
punkt pomiarowy B <sub>1</sub>	3,97	2,02
punkt pomiarowy B <sub>2</sub>	4,36	2,22
punkt pomiarowy B <sub>3</sub>	3,34	1,70

Uzyskane wyniki charakteryzują się następującymi parametrami:

- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie:  $f_{tm,is} = 1.98 \text{ MPa} > 1.5 \text{ MPa}$
- średnia wytrzymałość na ściskanie:  $f_{cm,is} = 32,12 \text{ MPa} > f_{cm,min} = 20,00 \text{ MPa}$

#### Wnioski:

Badany beton (torkret) spełnia wymagania wytrzymałościowe, warunkujące ewentualne wykonanie napraw powierzchniowych.

**TABELA 6**

Wytrzymałość warstwy betonu konstrukcyjnego.

	Bezpośredni odczyt siły odrywającej [kN]	Wytrzymałość na odrywanie [MPa]
punkt pomiarowy B <sub>4</sub>	0,00	0,00
punkt pomiarowy B <sub>5</sub>	2,30	1,17
punkt pomiarowy B <sub>6</sub>	1,70	0,86
punkt pomiarowy B <sub>7</sub>	1,90	0,97

**Uwaga:** punkt pomiarowy B<sub>4</sub> zlokalizowany na stopie słupa – odspojeniu uległa wylewka betonowa pokrywająca beton konstrukcyjny stopy słupa – przed wykonaniem warstw naprawczych wylewkę należy usunąć. Punktu B<sub>4</sub> nie uwzględniono w dalszych obliczeniach.



Fot. 20. Badanie „pull-off” na powierzchni stopy słupa – widoczne odspojenie warstwy wylewki betonowej – wylewka do usunięcia.

Uzyskane wyniki charakteryzują się następującymi parametrami:

- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie:  $f_{tm,is} = 1.00 \text{ MPa} = \text{dopuszczalna wartość minimalna}$
- średnia wytrzymałość na ściskanie:  $f_{cm,is} = 23,1 \text{ MPa} > f_{cm,min} = 20,00 \text{ MPa}$

#### Wnioski:

Badany beton konstrukcyjny spełnia wymagania wytrzymałościowe, warunkujące ewentualne wykonanie napraw powierzchniowych.

#### **5.2.4. Ocena stopnia karbonatyzacji (neutralizacji) betonu**

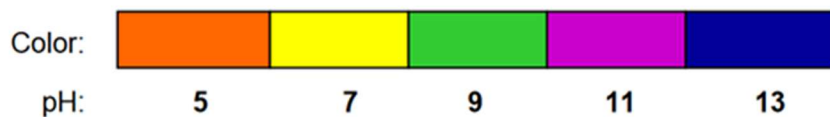
Oceny zasięgu procesu karbonatyzacji (neutralizacji) przypowierzchniowej warstwy betonu dokonano za pomocą odczynnika „Rainbow-Test” w wybranych miejscach wykonania odkrywek zbrojenia oraz pomiarów wytrzymałości betonu na rozciąganie metodą „pull-off”.

W przypadku „Rainbow-Testu” istota pomiaru sprowadza się do wykonania aerozolowego natrysku badanej powierzchni betonu roztworem specjalnie dobranej kompozycji odczynników chemicznych, identyfikujących poszczególne wartości pH w zakresie od 5 do 13. Odczyn pH równy 11, uznawany powszechnie za wartość graniczną, poniżej której obniża się naturalna zdolność betonu do pasywacji zbrojenia, odpowiada zabarwieniu betonu na fioletowo. Przejście palety barw z koloru fioletowego na zielony (pH=9) sygnalizuje spadek pH poniżej wartości uznawanej za graniczną i potencjalne zagrożenie korozyjne zbrojenia.

Przeprowadzone badania wykazały, że przypowierzchniowa warstwa badanego betonu uległa procesowi karbonatyzacji (neutralizacji) w bardzo małym zakresie (max. 3 mm). Jest to w głównej mierze wynikiem stałego zawilgocenia wewnętrznej powierzchni zbiornika, co praktycznie uniemożliwia rozwój tego procesu.



**Rainbow Indicator**



Fot. 21. Wynik Rainbow-Testu (kolor granatowy –  $\text{pH} > 11$ ) w miejscu wykonania pomiaru „pull-off” (praktycznie brak karbonatyzacji) – warstwa torkretu



Fot. 22. Wynik Rainbow-Testu (kolor granatowy –  $\text{pH} > 11$ ) (praktycznie brak karbonatyzacji) – warstwa betonu konstrukcyjnego.





Fot. 23. Wynik Rainbow-Testu (kolor granatowy –  $\text{pH} > 11$ ) (praktycznie brak karbonatyzacji) – warstwa betonu konstrukcyjnego od strony zewnętrznej.



Fot. 24. Wynik Rainbow-Testu (kolor granatowy –  $\text{pH} > 11$ ) (praktycznie brak karbonatyzacji) – warstwa betonu konstrukcyjnego od strony zewnętrznej.

### 5.3. Analiza stanu technicznego zbiornika nr 1

Podstawowe kryteria, jakie powinna spełniać konstrukcja zbiornika przeznaczonego na wodę do spożycia są następujące:

- brak możliwości negatywnego oddziaływania na parametry zdrowotne i smakowe wody,
- bezpieczne przenoszenie wszystkich działających obciążeń,
- szczelna konstrukcja uniemożliwiająca eksfiltrację wody ze zbiornika oraz infiltrację wód deszczowych i gruntowych do wnętrza,
- odpowiednia trwałość.

Do wykonania konstrukcji zbiornika użyto betonu, w tym betonu natryskowego, a instalacje wewnętrzne wykonane są z rur żeliwnych oraz częściowo polietylenowych (wymienionych w grudniu 2019r.).

Beton jest sprawdzonym, najlepiej poznanym i najdłużej stosowanym materiałem w obiektach do wody przeznaczonej do spożycia, także żeliwo i polietylen są materiałami powszechnie stosowanymi do kontaktu z wodą pitną. Nigdy nie stwierdzono negatywnego oddziaływania betonu, żeliwa lub polietylenu na wodę, materiały te są powszechnie uznane za całkowicie bezpieczne.

Zagrożeniem dla zachowania wymaganych parametrów jakościowych wody mogą być przecieki wody przez konstrukcję zbiornika.

Wykonane szczegółowe oględziny i pomiary potwierdziły, że stan graniczny nośności nie jest zagrożony, konstrukcja zbiornika może bezpiecznie przenosić działające obciążenia. W wykonanej odkrywce ściany zbiornika stwierdzono, że grubość otuliny zbrojenia osiąga około 50 mm, a głębokość neutralizacji sięga max. około 3 mm. Głębokość neutralizacji betonu  $L_p$  w przewidywanym okresie eksploatacji określa się z zależności:

$$L_p = L_u (t_i/t_o)^{1/2}$$

gdzie:

$L_u$  – głębokość uszkodzenia betonu badanej konstrukcji w [cm],

$t_i$  – całkowity przewidywany okres eksploatacji w latach,

$t_o$  – okres eksploatacji konstrukcji do chwili badania w latach.

$$L_p = 0.6(100/38)^{1/2} = 1.26 \text{ cm}$$

Po 100 latach eksploatacji głębokość neutralizacji betonu w otulinie sięgałaby około 1.26 cm. Oznacza to, że w całym przewidywanym okresie eksploatacji nie wystąpi zagrożenie korozji stali zbrojeniowej (dotyczy ścian i dna zbiornika).

**Stwierdzono jednak, mogące wystąpić w krótkim czasie, zagrożenie dla stanu granicznego nośności płyty stropowej z uwagi na zbyt cienką otulinę zbrojenia i już widoczną korozję prętów zbrojeniowych.**

Badania potwierdziły, że konstrukcję zbiornika wykonano z betonu klasy nie niższej niż założono w projekcie, a rozstaw i średnica prętów zbrojeniowych są zgodne z projektem. Ponadto, dotychczasowa wieloletnia eksploatacja zbiornika potwierdziła, że konstrukcja spełnia wymagania w zakresie nośności.

#### 5.4. Wnioski końcowe

- Na podstawie wykonanych badań wytrzymałości betonu na ściskanie w zbiorniku nr 1, beton, z którego wykonano zbiornik zakwalifikować można do klasy nie niższej niż C12/15 (B15).
- Wykonane badania parametrów wytrzymałościowych betonu potwierdziły, że możliwa jest naprawa zbiornika z zastosowaniem dowolnych materiałów.
- Wykonane badania potwierdziły, że karbonatyzacja otuliny zbrojenia ścian i płyty dennej praktycznie nie występuje.
- Aktualnie stan graniczny nośności konstrukcji zbiornika nie jest zagrożony.
- Występuje zagrożenie dla stanu granicznego nośności płyty stropowej, z uwagi na zbyt cienką otulinę zbrojenia i już widoczną korozję prętów zbrojeniowych.

#### 5.5. Zalecenia

Stan techniczny zbiornika umożliwia jego remont i dalszą wieloletnią, bezpieczną eksploatację, konieczne jest jednak wykonanie prac remontowych dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych, tj.:

- **strop – płyta wraz z żebrami, górną częścią ściany (do około 25 cm poniżej stałego lustra wody) oraz głowicą słupa:**
  - odkucie zarysowanych, obluźnionych i zanieczyszczonych chemicznie części betonu,
  - oczyszczenie skorodowanego zbrojenia,
  - oczyszczenie metodą strumieniowo-ścierną np. przez piaskowanie, hydropiaskowanie lub hydromonitoring powierzchni betonu,
  - nałożenie warstw zabezpieczających zbrojenie (np. Zentrifix KMH, Immercret MWS)
  - nałożenie odpowiednich warstw szczepnych oraz uzupełnienie ubytków betonu zaprawą PCC (SPCC) klasy R4 według PN-EN 1504 (np. MC-Nafufill KM, Immercret RM) lub inną o analogicznych właściwościach,
  - pogrubienie otuliny zbrojenia płyty stropowej oraz żeber (min. 10mm), konieczne jest naniesienie warstwy zaprawy PCC klasy R3 lub R4 metodą natrysku, można zastosować np. materiał Immercret ZT, Nafufill GTS lub innego o analogicznych właściwościach, powierzchnię należy pozostawić nie zagładzoną (tzw. baranek),
  - nałożenie powłoki **zabezpieczającej przed działaniem bardzo miękkiej wody** np. MC RIM PW 10, Immercrete WP 2 lub Kerasal lub innej o równoważnych właściwościach, konieczne potwierdzenie w karcie technicznej podwyższonej odporności na korozję ługującą.



Minimalne wymagania jakie powinien spełniać materiał naprawczy: do uzupełniania ubytków betonu i pogrubienia otuliny zbrojenia:

- odporność na środowiska o klasach ekspozycji XC2, XD2, (klasy ekspozycji wg PN-EN 206),
- wytrzymałość na ściskanie nie mniejsza od wytrzymałości na ściskanie naprawianego betonu, zaleca się materiały o wytrzymałości na ściskanie nie mniejszej od 25MPa,
- przyczepność do podłoża równa wytrzymałości naprawianego betonu na rozciąganie (zerwanie stempla pomiarowego powinno wystąpić w naprawianym betonie) lub nie mniej od 1.5 MPa,
- moduł sprężystości materiału naprawczego powinien być zbliżony do modułu sprężystości naprawianego betonu i nie mniejszy od 20 GPa,
- możliwie mały skurcz (wskazany nie większy od 0.9 mm/m po 90 dniach),
- wskaźnik w/c nie większy od 0.55, na podstawie własnych doświadczeń zalecam aby wskaźnik w/c był nie większy od 0.5,
- zawartość jonów chlorkowych nie większa od 0.05%.

#### ➤ ściany zbiornika wraz z odsadzką

##### Wariant I

- usunięcie powłoki z laminatu szklanego – wszędzie tam gdzie jest lokalnie uszkodzona i odpaja się od podłoża betonowego, na tych fragmentach uzupełnić ubytki przez wykonanie laminatu epoksydowo-szklanego, użyć należy włókniny szklanej i żywicy epoksydowej np. Harz EP 39 HC lub innej o analogicznych właściwościach,
- usunięcie powłoki żywicznej – w miejscach jej uszkodzenia (odspojenia), ubytki uzupełnić żywicą epoksydową np. Harz EP 39 HC lub innej o analogicznych właściwościach,
- dokładne oczyszczenie miejsca połączenia ściany z odsadzką z usunięciem żywicy na wysokość nie mniejszą od 5 cm
- wykonanie wyoblenia z mineralnego materiału wodoszczelnego np. Ombran W na połączeniu ściany zbiornika z odsadzką.

##### Wariant II

- dokładne usunięcie powłok żywicznych ze ścian zbiornika,
- dokładne oczyszczenie miejsca połączenia ściany z odsadzką i płyty dennej z odsadzką,
- wykonanie wyoblenia z mineralnego materiału wodoszczelnego np. Ombran W na połączeniu ściany zbiornika z odsadzką i płyty dennej z odsadzką,
- oczyszczenie powierzchni ścian (metody jak dla płyty stropowej), uzupełnienie ewentualnych większych ubytków betonu zaprawą PCC jak dla stropu,
- nałożenie metodą natrysku warstwy zaprawy wodoszczelnej o grubości nie mniejszej od około 10 mm np. MC-Rim PW101, Immercret ZT lub EuroCret i jej zagładzenie. Można zastosować inną zaprawę o analogicznych właściwościach

➤ **płyta denna wraz ze stopą słupa centralnego:**

- oczyszczenie metodą hydromonitoringu lub strumieniowo-ścierną np. przez piaskowanie lub hydropiaskowanie powierzchni betonu,
- usunięcie żywicy oraz wyrównanie powierzchni dna, z utrzymaniem spadku w kierunku komory odwodnienia, zastosować można materiały jak dla stropu, wyrównanie konieczne należy wykonać z zastosowaniem prowadnicy dla dokładnego zachowania spadku dna,
- usunięcie wylewki pokrywającej stopę słupa,
- naniesienie warstwy szczepnej odpowiedniej dla stosowanej zaprawy PCC, zastosować można materiały jak dla stropu,
- opcjonalnie: ułożenie na dnie warstwy betonu spadkowego klasy C20/25 o grubości 6 do 8 cm ze zbrojeniem przeciwskurczowym,

➤ **słup:**

- oczyszczenie metodą hydromonitoringu lub strumieniowo-ścierną np. przez piaskowanie lub hydropiaskowanie powierzchni betonu,
- wykonanie powłoki zabezpieczającej np. z materiału MC-Rim PW101, Immercret ZT lub EuroCret i jej zagładzenie lub innego materiału o równoważnych właściwościach.

➤ **elementy stalowe:**

- wymiana drabiny żłazowej na nową ze stali nierdzewnej (00H17M14M2 wg normy 1.4404 gatunek 316L wg AISI USA),
- wymiana konstrukcji wjazdu na konstrukcję ze stali nierdzewnej,

➤ **konstrukcja wejścia do zbiornika:**

- naprawy ogólnobudowlane uszkodzeń wymienionych na fot.14, 15, 16 i 17.

➤ **rurociągi wewnątrz zbiornika:**

- dokładne oczyszczenie żeliwnych rur i ich pokrycie lakierem epoksydowym, instalacyjnych, wskazana byłaby ich wymiana na rury z PE (częściowo wykonane w grudniu 2019r.), żeliwa sferoidalnego lub ze stali nierdzewnej zgodne z PN-EN 10312,

***UWAGA: Przygotowanie każdego podłoża betonowego przed pracami naprawczymi i zabezpieczającymi należy wykonać zgodnie z wymogami normy PN-EN 1504-2:2006 - Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych -- Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności -- Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu oraz wytycznymi producenta materiałów.***

Ponadto, wszystkie wyroby i urządzenia stosowane do remontu obiektów wodociągowych powinny spełniać nie tylko wymagania techniczno-budowlane, ale również higieniczno-sanitarne, określone w obowiązujących przepisach oraz normach.

Przedmiotowe wyroby i urządzenia powinny odpowiadać wymogom wskazanym w normie PN-EN 805:2002 Zaopatrzenie w wodę -- Wymagania dotyczące systemów zewnętrznych i ich części składowych.

Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 roku o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (t.j.: Dz.U. z 2019r. poz. 1437) zawiera m.in. regulacje dotyczące nadzoru nad materiałami, wyrobami i preparatami mającymi kontakt z wodą przeznaczoną do spożycia. W myśl art. 12 ust. 2 ww. ustawy każdy materiał i wyrób używany do uzdatniania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi powinien posiadać pozytywną **ocenę higieniczną** państwowego powiatowego inspektora sanitarnego.

Regulacje dotyczące obowiązku oceny higienicznej dla materiałów lub wyrobów stosowanych w procesach uzdatniania i dystrybucji wody zawiera rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2017r. poz. 2294), wydane na podstawie art. 13 ww. ustawy. Przedmiotowej oceny dokonuje właściwy państwowy powiatowy lub państwowy graniczny inspektor sanitarny dla materiału lub wyrobu stosowanego w procesach uzdatniania i dystrybucji wody.

Ocena higieniczna, o której mowa w § 24 pkt 1 ww. rozporządzenia, jest wydawana na podstawie dokumentacji przedłożonej przez producenta lub dystrybutora lub podmiot ubiegający się o zastosowanie materiału lub wyrobu stosowanego w procesach uzdatniania wody. Dokumentacja ta, zawierać ma m.in. opis rodzaju zastosowanego materiału, wyrobu, substancji chemicznych i ich mieszanin z aktualnymi **atestami higienicznymi** jednostki uprawnionej do wydawania takich atestów, uwzględniającymi w szczególności częstotliwość pobierania próbek wody wprowadzonej do jednostkowych opakowań wykorzystywanych do przechowywania wody w celu wykorzystania jej w sytuacji nadzwyczajnej.

Jednostką uprawnioną przez Ministra Zdrowia w zakresie wydawania atestów na materiały i wyroby stosowane w systemach dystrybucji wody oraz środki stosowane do jej uzdatniania jest Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny (NIZP-PZH).

Atest higieniczny wydawany przez NIZP-PZH jest dokumentem stwierdzającym przydatność wyrobu do zastosowania w systemach zaopatrzenia w wodę. Dokument ten dotyczy bezpieczeństwa zdrowotnego zastosowanych materiałów.

Wykonał: Dr inż. Leszek Wysocki

Dr inż. Tomasz Abel