

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

***Cz.2 – ZBIORNIK NR 2***

***BRANŻA: KONSTRUKCYJNO-BUDOWLANA***

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



***ppk-pniewy.pl***

<b><i>Autorzy:</i></b>	<b><i>dr inż. Tomasz Abel</i></b>	
	<b><i>dr inż. Leszek Wysocki</i></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.....	3
5.	ZBIORNIK NR 2.....	6
5.1.	Przegląd stanu technicznego.....	6
5.2.	Badanie konstrukcji zbiornika.....	12
5.2.1.	Lokalizacja i identyfikacja zbrojenia.....	12
5.2.2.	Badania wytrzymałości betonu na ściskanie metoda sklerometryczną.....	13
5.2.3.	Badania wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie).....	18
5.2.4.	Ocena stopnia karbonatyzacji (neutralizacji) betonu.....	20
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 zlecone 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 ciecz.

[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.

[3.10] PN-EN 1504-1 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji z betonu. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 1: Definicje

[3.11]Neville A. M. : Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków 2000.

[3.12] Norma PN-EN 1504-2:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu.

[3.13] Norma PN-EN 1504-3:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne.

[3.14] Norma PN-EN 1504-4:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Norma PN-EN 1504-7:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 7: Ochrona zbrojenia przed korozją.

[3.15] Norma PN-EN 1504-8:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 8: Sterowanie jakością i ocena zgodności.

[3.16] Norma PN-EN 1504-9:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów.

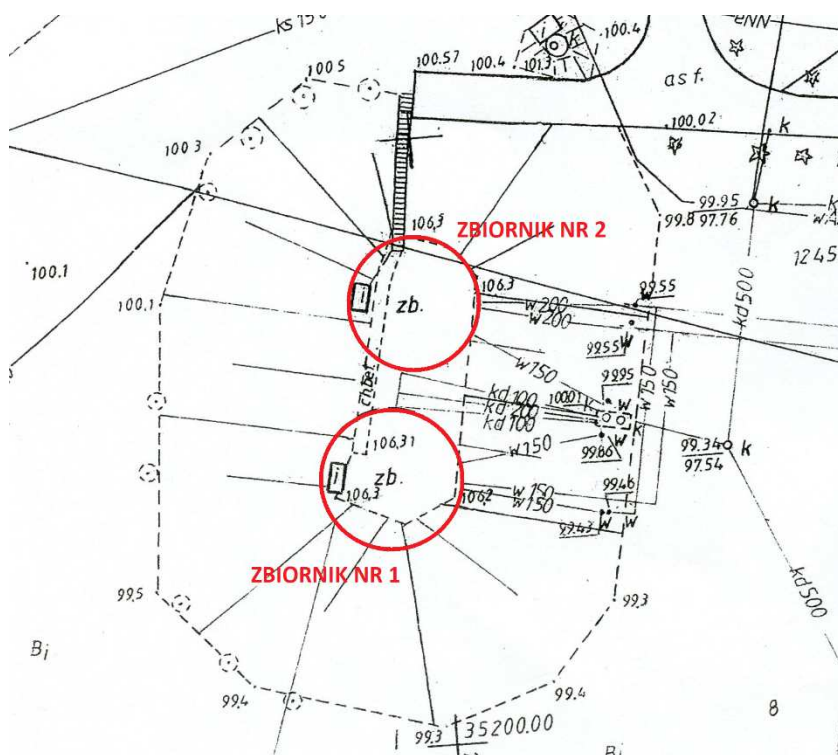
[3.17] Norma PN-EN 1504-10: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 10: Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz sterowanie jakością prac.

#### **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.



Rys. nr 1. Plan sytuacyjny 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 pierwotnie wykonano ze stali zwykłej (w zbiorniku nr 2 wymieniona na aluminiową),
- 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 2.



Fot. 3. Widok płyty stropowej i słupa centralnego – zbiornik nr 2

## 5. ZBIORNIK NR 2

### 5.1. Przegląd stanu technicznego

W wyniku przeprowadzonych oględzin zbiornika nr 2 stwierdzono, że jego aktualny stan techniczny uznać należy za niezadawalający, ale nie zagrażający w chwili obecnej bezpieczeństwu jego użytkowania.

Stwierdzono następujące usterki i nieprawidłowości:

- korozja elementów armatury,
- uszkodzona otulina płyty stropowej oraz prefabrykowanych żeber i korozja zbrojenia – uszkodzenia o znaczeniu konstrukcyjnym mogące prowadzić do awarii lub katastrofy,
- ściany, strop oraz słup pokryte warstwą żywicy epoksydowej: na słupie oraz stropie powłoka cienkowarstwowa, na ścianach powłoka żywiczna z dużą domieszką wypełniaczy – powłoka odpaja się od powierzchni słupa oraz ścian,
- skorodowane śruby drabiny aluminiowej,
- skorodowane uchwyty i obejmy rurociągów technologicznych,
- nierówności ścian zbiornika – wynikające z wykonania wewnątrz zbiornika natrysku z betonu (torkret).



Fot. 4. Widok fragmentu rurociągu wraz z przejściem przez ścianę zbiornika – widoczna skorodowana obejma oraz kołnierz, rury PE w dobrym stanie technicznym.





Fot. 5. Widok żebra płyty stropowej – uszkodzenia otuliny, korozja zbrojenia, widoczne skropliny wody, które są agresywne w stosunku do betonu.



Fot. 6. Głowica słupa centralnego wraz z fragmentami żeber - pozorny brak widocznych uszkodzeń – uszkodzenia występują pod powłoką.

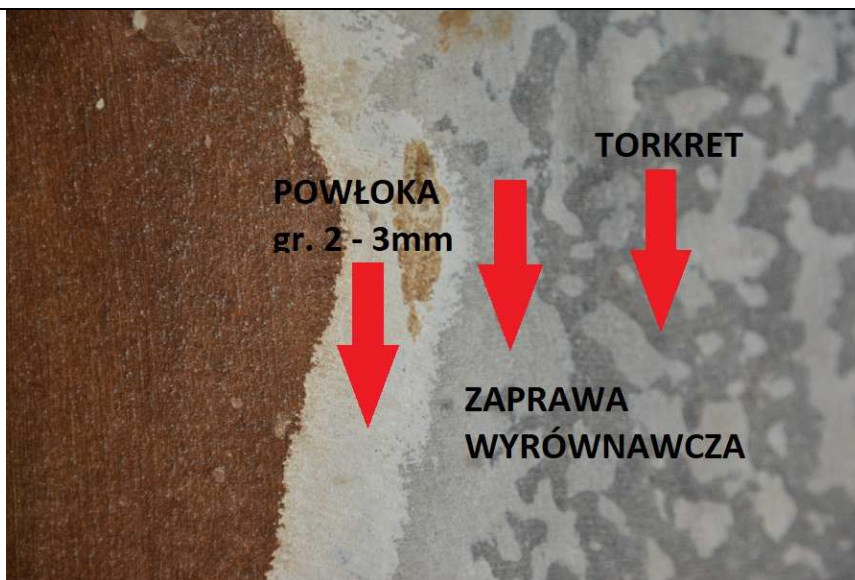


Fot. 7. Fragment ściany zbiornika oraz słup centralny.





Fot. 8. Fragment ściany zbiornika, widoczne ubytki cienkiej, powierzchniowej warstwy powłoki zabezpieczającej.



Fot. 9. Ściana zbiornika – warstwy powierzchniowe.



Fot. 10. Słup – uszkodzona powłoka naprawcza – żywica epoksydowa



Fot. 11. Skorodowane elementy stalowe – korozja śrub mocujących drabinę.



Fot. 12. Skorodowane elementy stalowe – korozja obejm zamontowanych na rurociągach.



Fot. 13. Połączenie płyty dennej oraz ściany.



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 pokryta jest powłoką naprawczą – żywica epoksydowa z domieszkami (patrz foto nr 8, 9). Płyta denna, wykonana do poziomu odsadzek ław fundamentowych, posiada wylewkę betonową nadającą spadek w kierunku odpływów. Strop żelbetowy, pokryty tą samą powłoką co ściany, wykonany jako płaska płyta oparta na prefabrykowanych żebrach. W części centralnej zbiornika słup z głowicą – również z powłoką ochronną – żywica epoksydowa (patrz foto nr 10). Ściany zewnętrzne pokryte powłoką bitumiczną (prawdopodobnie abizol) a na płycie stropowej ułożona warstwa papy. Ławy fundamentowe poszerzone z zewnętrzną 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 5 - 6 cm, zbrojonego pojedynczymi prętami  $\phi 6\text{mm}$ .



Fot. 18. Odkrywka punktowa – warstwa torkretu oraz zbrojenie prętami  $\phi 6\text{mm}$

Od strony zewnętrznej, w miejscu prowadzonych robót ziemnych, wykonano dwie punktowe odkrywki w wyniku czego stwierdzono brak uszkodzeń betonu zarówno w zakresie strukturalnym jak i chemicznym (brak karbonatyzacji) – taki stan betonu gwarantuje pełną ochronę stali zbrojeniowej. Powyższe pozwala wnioskować, że pręty zbrojeniowe pozostają w bardzo dobrym stanie technicznym.



Fot. 19. Odkrywki punktowe od zewnętrznej strony obiektu – brak uszkodzeń.

### 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 7 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				
MP nr 1	0°	42	44	44	42	52	50	46	48	52	46	46,6	53,83	0.67	36,07
MP nr 2	0°	44	42	42	50	50	46	48	48	50	44	46,4	53,25	0.67	35,68
MP nr 3	0°	44	42	46	44	50	52	44	50	52	42	46,6	53,83	0.67	36,07
MP nr 4	0°	50	48	46	50	52	48	42	46	48	46	47,6	56,78	0.67	38,05
MP nr 5	0°	50	46	44	52	48	50	46	44	42	50	47,2	55,60	0.67	37,25

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

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie  $f_{cm,is} = 36,62 \text{ MPa}$
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości  $f_{is,lowest} = 35,68 \text{ MPa}$

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  $n = 5$

$$f_{ck, is, cube} \leq 36,62 - 7 = \mathbf{29,62 \text{ MPa}} \quad \text{oraz} \quad f_{ck, is, cube} \leq 35,68 + 4 = \mathbf{39,68 \text{ MPa}}$$

Na podstawie uzyskanych wyników badań, wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu (torkret) można przyjąć jako nie większą niż **29.62 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										$L_{sr}$	$f_{c,oi}$	$\theta$	$f_{oi,spr}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
MP nr 6	0°	40	42	45	45	40	40	40	42	40	40	41,4	39,82	0.67	<b>26,68</b>
MP nr 7	0°	42	40	40	44	40	40	44	40	42	42	41,4	39,82	0.67	<b>26,68</b>

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

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie  $f_{cm, is} = \mathbf{26,68 \text{ MPa}}$
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości  $f_{is, lowest} = \mathbf{26,68 \text{ MPa}}$

#### 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  $n = 2$

$$f_{ck, is, cube} \leq 26,68 - 7 = \mathbf{19.68 \text{ MPa}} \quad \text{oraz} \quad f_{ck, is, cube} \leq 26,68 + 4 = \mathbf{30.68 \text{ MPa}}$$

Na podstawie uzyskanych wyników badań, wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu można przyjąć jako nie większą niż **19.68 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										$L_{\dot{s}r}$	$f_{c,oi}$	$\theta$	$f_{oi,spr}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	[ - ]	[MPa ]	[ - ]	[MPa ]
<b>MP nr 8</b>	0°	40	36	42	38	42	38	42	40	42	38	39,8	35,95	0.67	<b>24,09</b>

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

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie  $f_{cm,is} = 24,09 \text{ MPa}$
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości  $f_{is,lowest} = 24,09 \text{ MPa}$

#### 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  $n = 1$

$$f_{ck,is,cube} \leq 24,09 - 7 = 17,09 \text{ MPa} \quad \text{ oraz } \quad f_{ck,is,cube} \leq 24,09 + 4 = 28,09 \text{ MPa}$$

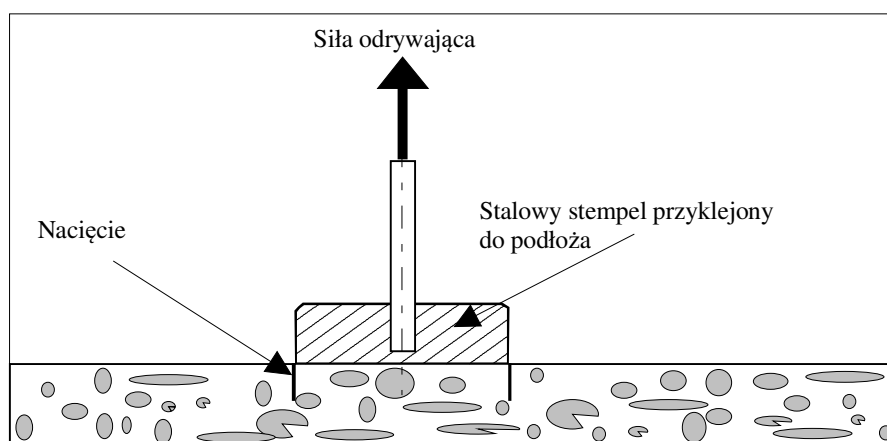
Na podstawie uzyskanych wyników badań, wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu można przyjąć jako nie większą niż **17.09 MPa** i zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, oszacować jego klasę jako nie niższą niż **C12/15(B15)**.

#### *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>	2,60	1,30
punkt pomiarowy B <sub>2</sub>	3,40	1,70
punkt pomiarowy B <sub>3</sub>	2,84	1,42
punkt pomiarowy B <sub>4</sub>	2,93	1,46
punkt pomiarowy B <sub>5</sub>	3,23	1,61

Uzyskane wyniki charakteryzują się następującymi parametrami:

- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie:  $f_{tm,is} = 1.50 \text{ MPa}$
- średnia wytrzymałość na ściszenie:  $f_{cm,is} = 36,62 \text{ MPa} > f_{cm,min} = 20,00 \text{ MPa}$

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>6</sub>	2,10	1,05
punkt pomiarowy B <sub>7</sub>	2,30	1,17





Fot. 20. Miejsca wykonania badania „pull-off” na powierzchni płyty dennej – prawidłowy przetóm widoczny w warstwie betonu na głębokości ok 1 cm.

Uzyskane wyniki charakteryzują się następującymi parametrami:

- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie:  $f_{tm,is} = 1.1 \text{ MPa} > \text{dopuszczalna wartość minimalna}$
- średnia wytrzymałość na ściskanie:  $f_{cm,is} = 26,68 \text{ MPa} > f_{cm,min} = 20,00 \text{ MPa}$

#### Wnioski:

Badany beton konstrukcyjny warunków spełnia wymagania wytrzymałościowe, umożliwiające ewentualne wykonanie napraw powierzchniowych z pewnymi ograniczeniami technologicznymi (zależnymi od rodzaju zastosowanego materiału naprawczego).

#### **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 aerozolu 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 betonu konstrukcyjnego, płyta denna.



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



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

### 5.3. Analiza stanu technicznego zbiornika nr 2

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 obecnie z rur polietylenowych.

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:



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

gdzie:

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

$t_l$  – 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 cieniłą otulinę zbrojenia i już widoczną korozję prętów zbrojeniowych.**

Badania potwierdziły, że konstrukcję zbiornika wykonano z betonu klasy nie niższej niż założono w projekcie. 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 2, 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 odspajające się fragmenty otuliny betonowej i 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 szepnych 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 101, Immercrete WP 2 lub Kerasal ANS i MRM lub innej o równoważnych właściwościach, konieczne potwierdzenie w karcie technicznej stosowanego materiału 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**

**Wariant I** (zapewniający co najmniej kilkanaście lat eksploatacji bez wykonywania prac naprawczych)

- usunięcie powłoki żywicznej, strumieniowo-ściernie oczyszczenie torkretu,
- wykonanie wyoblenia z mineralnego materiału wodoszczelnego np. Ombran W na połączeniu ściany zbiornika z płytą denną,

- pozostawienie powierzchni oczyszczonego torkretu bez jakichkolwiek dodatkowych powłok z ewentualnym uzupełnieniem ubytków za pomocą szpachłówki PCC spełniającej wymagania norm PN-EN 1504 i wymagania sanitarno-higieniczne.

**Wariant II** (zapewniający znacznie wyższą trwałość niż wariant I)

- usunięcie powłoki żywicznej strumieniowo-ścierne, oczyszczenie torkretu,
  - wykonanie wyoblenia z mineralnego materiału wodoszczelnego np. Ombran W na połączeniu ściany zbiornika z płytą denną,
  - pokrycie torkretu preparatem MC RIM PW 101, Immercrete WP 2 lub Kerasal (ANS lub MRM).
- **płyta denna wraz ze stopą słupa centralnego:**
- oczyszczenie metodą hydromonitoringu i ewentualne uzupełnienie ubytków za pomocą szpachłówki PCC spełniającej wymagania norm PN-EN 1504 i wymagania sanitarno-higieniczne.
- **słup:**
- oczyszczenie metodą hydromonitoringu lub strumieniowo-ścierną np. przez piaskowanie lub hydropiaskowanie powierzchni betonu,
  - po oczyszczeniu słupa wykonać należy przegląd jego powierzchni, w przypadku stwierdzenia widocznych prętów zbrojeniowych konieczne będzie naniesienie warstwy zaprawy SPCC klasy R3 lub R4 o grubości nie mniejszej od 10 mm spełniającej wymagania norm PN-EN 1504 i wymagania sanitarno-higieniczne.
  - wykonanie powłoki zabezpieczającej np. z materiału MC RIM PW 101, Immercrete WP 2 lub Kerasal (ANS lub MRM).
- **elementy stalowe:**
- wymiana skorodowanych drobnych elementów mocujących (śruby, obejmy) na elementy ze stali nierdzewnej,
  - wymiana konstrukcji włazu na konstrukcję ze stali nierdzewnej,
- **konstrukcja wejścia do zbiornika:**
- naprawy ogólnobudowlane uszkodzeń wymienionych na fot.14, 15, 16 i 17.
- **rurociągi wewnątrz zbiornika:**
- kontrola szczelności, sprawdzenie połączeń poszczególnych fragmentów rur.

***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