

BIURO USŁUG INŻYNIERSKICH

dr inż. Leszek Wysocki
ul. Bacciarellego 10F/9, 51-649 Wrocław

EKSPERTYZA TECHNICZNA ZBIORNIKÓW

ZLECAJĄCY: *Miejska Gospodarka Komunalna Spółka z o.o. w Oleśnicy*

LOKALIZACJA OBIEKTU: *ul. Dobroszycka, Oleśnica*

AUTOR OPRACOWANIA: *dr inż. Leszek Wysocki, prof. PWr.*

Wrocław, październik 2021 rok

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi umowa nr 8-TW/2021 z dnia 1.07.2021 roku pomiędzy Zlecającym – Miejską Gospodarką Komunalną Spółką z o.o. (ul. 11 Listopada 17, Oleśnica) a Zleceniobiorcą – Biurem Usług Inżynierskich (ul. Bacciarelliego 10F/9, 51-649 Wrocław).

2. Cel i zakres opracowania

Celem jest opracowanie ekspertyzy wraz z projektem remontu zbiorników wody czystej zlokalizowanych na terenie Zakładu Uzdatniania Wody przy ul. Dobroszyckiej w Oleśnicy.

Zakres opracowania części ekspertyzowej zgodnie z umową dotyczy sporządzenia ekspertyzy dwóch zbiorników wody czystej o pojemności 3000 m³ każdy obejmującej:

- opis aktualnego stanu zbiorników i ocenę ich przydatności do dalszej eksploatacji,
- opracowanie wytycznych remontowych.

Widok ogólny zbiornika ilustruje fot.1. (drugi zbiornik ma identyczną konstrukcję).



Fot.1. Widok ogólny zbiornika

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 we Wrocławiu w grudniu 1984 roku.
- [3.9] PN-EN 1990: 2004 / A1:2008. Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.

4. Ogólny opis konstrukcji przedmiotowych zbiorników

Przedmiotowe zbiorniki zlokalizowane są w miejscowości Oleśnica, ich użytkownikiem jest Miejska Gospodarka Komunalna Spółką z o.o. w Oleśnicy. Dane projektowe dotyczące konstrukcji zbiorników na podstawie dokumentacji [3.8]:

- pojemność zbiornika $V = 3000 \text{ m}^3$,
- średnica wewnętrzna $D_w = 25.5 \text{ m}$,
- wysokość ścian od dna do górnej krawędzi $H = 6.5 \text{ m}$,
- w projekcie przyjęto grubość ścian 40 cm ,
- ściany oparte są na fundamencie pierścieniowym,
- zbiornik zaprojektowano jako monolityczny żelbetowy,

- drabiny zewnętrzną i wewnętrzną oraz konstrukcję wjazdu zaprojektowano ze stali zwykłej zabezpieczonej antykorozyjnie zestawem powłok malarskich,
- w projekcie przyjęto płaskie przykrycie prefabrykowanymi płytami żebrowymi opartymi na ścianie zewnętrznej i na żelbetowym podciągu (pierścień zewnętrzny) oraz podciągu i na słupie centralnym (pierścień wewnętrzny), stropodach kryty jest papą.
- podciąg oparty jest na 8 słupach żelbetowych, słupy posadowione są na płycie dennej zbiornika, widok stropu ilustruje fot.2



Fot.2. Widok stropu zbiornika

- słup centralny zaprojektowano jako żelbetowy o średnicy 40 cm zakończony głowicą o średnicy 2.3 m, widok słupa ilustruje fot.3.



Fot.3. Widok słupa centralnego i podciągu

- zaprojektowano płytę denną o grubości 25 cm podzieloną na pola dylatacjami uszczelnionymi taśmą PCW,
- płyty stropowe zaprojektowano z betonu B-150, można przyjąć, że odpowiada to obecnej klasie C12/15,
- pozostałe elementy konstrukcyjne zaprojektowano z betonu B-200, można przyjąć, że odpowiada to obecnej klasie C15/20,
- zaprojektowano ocieplenie ścian zbiornika płytami PW-8 przytwierdzonymi do stalowego szkieletu, poniżej terenu zaprojektowano ocieplenie z muru z cegły dziurawki na zaprawie cementowej,
- jako izolację wewnętrzną przyjęto wyprawę wodoszczelną z zaprawy cementowej z dodatkiem hydrobetu,
- izolację poziomą zaprojektowano z dwóch warstw papy na lepiku ułożonej na warstwie chudego betonu,
- izolację ścianki osłonowej z cegły dziurawki przyjęto z lepiku na gorąco.

Projekt opracowany został przez BPBK we Wrocławiu w listopadzie 1984 roku.

5. Przegląd stanu technicznego zbiorników

5.1. Zbiornik nr 1 (nr na elewacji 1991/205)

W wyniku wykonanego w sierpniu 2021 roku przeglądu stanu technicznego zbiornika nr 1 stwierdzono, że jego aktualny stan techniczny uznać należy za średni. O takiej ocenie decydują przede wszystkim uszkodzenia stropu, do najważniejszych uszkodzeń konstrukcji zbiornika zaliczyć należy:

- lokalnie odspojenia otuliny zbrojenia i korozję prętów zbrojeniowych w płytach a przede wszystkim w żebrach, fot.4, 5, 6, 7 i 8,



Fot.4. Odspojenia betonu i korozja zbrojenia, widoczne ślady nieskutecznych napraw, widoczna bardzo cienka otulina zbrojenia



Fot.5. Odspojenia betonu i korozja zbrojenia, widoczna bardzo cienka otulina zbrojenia



Fot.6. Odspojenia betonu i korozja zbrojenia, widoczna próba naprawy betonu głowicy słupa



Fot.7. Odspojenia betonu i korozja zbrojenia, widoczne nieskuteczne próby naprawy betonu



Fot.8. Odspojenia betonu i korozja zbrojenia w żebrach płyt stropowych widoczna bardzo cienka otulina zbrojenia

- nierówność powierzchni ścian, fot. 9 i 10,



Fot.9. Nierówności powierzchni ściany zbiornika



Fot.10. Nierówności powierzchni ściany zbiornika

- brak wyoblenia pomiędzy płytą denną i ścianą zbiornika, fot.11,



Fot.11. Brak wyoblenia pomiędzy ścianą i płytą denną, widoczne nierówności powierzchni ściany zbiornika

- korozję wjazdu i drabiny zejściowej, fot. 12 i 13,



Fot. 12. Korozja wjazdu wejściowego



Fot.13. Korozja drabiny zejściowej

- liczne uszkodzenia pokrycia papowego, fot. 14 i 15,



Fot.14. Uszkodzenia pokrycia papowego



Fot.15. Uszkodzenia pokrycia papowego

- w odkrywce ściany osłonowej stwierdzono korozję powierzchniową elementów konstrukcji stalowej do mocowania ścian osłonowych,
- w górnej części ściany z cegły dziurawki występują liczne uszkodzenia tynku i lokalnie cegły.

5.2. Zbiornik nr 2

W wyniku wykonanego w sierpniu 2021 roku przeglądu stanu technicznego zbiornika nr 2 stwierdzono, że jego aktualny stan techniczny uznać należy za średni, stan techniczny tego zbiornika jest nieco gorszy niż zbiornika nr 1. O takiej ocenie decydują bardzo liczne uszkodzenia konstrukcji stropu, na większym obszarze niż w zbiorniku nr 1 i lokalnie w górnej części ścian. Uszkodzenia ścian są znacznie wyraźniejsze i liczniejsze niż w zbiorniku nr 1, widoczne są w górnej części ściany do około 1.5 m poniżej stropu. Ponadto w odkrywce ściany osłonowej stwierdzono nieregularne zarysowanie ściany zbiornika bez śladów przecieku. Pozostałe uszkodzenia są analogiczne jak w zbiorniku nr 1.

6. Badania konstrukcji zbiorników

6.1. Opis badań

6.1.1 Ocena stanu otuliny zbrojenia

Dla oceny stanu betonowej otuliny zbrojenia wykonano badania wskaźnika pH betonu w płycie stropowej i ścianie zbiornika (w dolnej części ściany). Do badań wykorzystano odczynnik Rainbow-Test. 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 jest powszechnie za wartość graniczną, poniżej której obniża się naturalna zdolność betonu do pasywacji zbrojenia, odpowiada to zabarwieniu betonu na fioletowo. Przejście palety barw z koloru fioletowego na zielony (pH=9) sygnalizuje spadek pH poniżej wartości uznawanej za graniczną i zagrożenie korozyjne dla zbrojenia.

6.1.2 Badania wytrzymałości betonu na ściskanie metodą sklerometryczną

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*).

Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono wykorzystując równanie regresji proponowane w Instrukcji ITB Nr 210 w postaci:

$$f_c = 0.041 L^2 - 0.912 L + 7.3$$

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

L – wartość liczby odbicia [–]

Sklerometr, wykorzystany w badaniach, poddano kontroli technicznej przed i po badaniach. Stwierdzono, że urządzenie było w pełni sprawne. Wykonane pomiary kontrolne wykazały średnią wartość liczby odbicia na kowadelku kontrolnym równą $L_K=80.0$. Temperatura powietrza wynosiła w czasie badań około 17°C . 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 był powyżej 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 $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ ($f_{ck, is, cube}$), 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:

$f_{cm(n), is}$ – 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

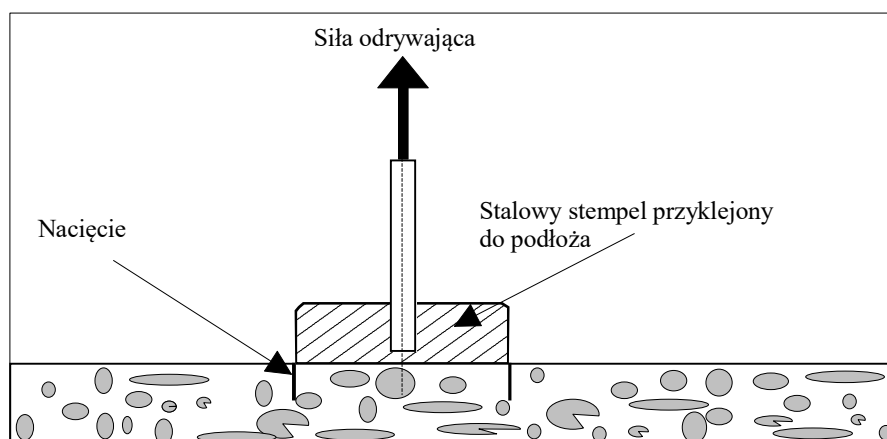
Zmienna „k” przy małej liczbie wyników badań

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 charakterystycznych 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 *Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.

6.1.3 Badania wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie)

Badania wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie) przeprowadzono metodą „pull-off”, zgodnie z normą PN-EN 1542: 2000 [3.4]. Zastosowana metoda pomiarowa („pull-off”) polega na pomiarze siły odrywającej przyklejonego do badanej powierzchni metalowego krążka o średnicy 50 mm (Rys.1).



Rys.1 „Pull-off” – istota metody

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 napraw powierzchniowych, np. w postaci materiałów typu PCC, przyjęto, że wymagane jest spełnienie następujących warunków:

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie winna być nie niższa niż około 25 MPa,
- średnia wartość wytrzymałości na odrywanie, określona w danym miejscu pomiarowym, winna być nie niższa niż około 1.5 MPa.

6.2 Wyniki badań dla zbiornika nr 1

6.2.1 Ocena betonowej otuliny zbrojenia

Badania otuliny zbrojenia w płycie stropowej wykazały, że strefa zneutralizowanego betonu (wskaźnik pH poniżej 9) osiąga lokalnie głębokość około 12 mm. W konstrukcji ścian (w dolnej ich części dostępnej w trakcie badań) neutralizacja betonu praktycznie nie występuje. Grubość otuliny w płytach stropowych jest lokalnie mniejsza od 10 mm, oznacza to, że na pewnych obszarach stropu betonowa otulina zbrojenia nie chroni skutecznie stali zbrojeniowej przed korozją.

6.2.2 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie

Na podstawie uzyskanych wyników badań, przeprowadzono stosowne obliczenia, wykorzystując założone równanie regresji w postaci:

$$f_{c,oi} = (0.041 L_{\dot{s}r}^2 - 0.912 L_{\dot{s}r} + 7.3)$$

Uzyskane wyniki badań oraz przeprowadzonych obliczeń zestawiono w Tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów sklerometrycznych dla zbiornika nr 1 (ściana)

miejsce pomiarowe	kąt pomiaru	ODCZYT									$L_{\dot{s}r}$ [-]	$L_{\dot{s}r,spr}$ [-]	f_{co} [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
ściana	0°	30	30	32	30	32	32	32	32	34	31.6	31.6	16.2
ściana	0°	32	34	32	30	32	30	32	30	32	31.6	31.6	16.2
ściana	0°	32	32	32	32	30	30	28	30	28	30.4	30.4	18.7
ściana	0°	34	32	30	32	34	34	32	34	36	33.1	33.1	17.7
ściana	0°	32	36	32	30	32	38	32	30	32	31.3	31.3	17.9

Najmniejsza uzyskana wytrzymałość betonu to 17.7 MPa. Na podstawie uzyskanych wyników badań zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, klasę betonu oszacowano jako **C15/20**.

TABELA 3. Wyznaczenie wytrzymałości betonu w słupach

miejsce pomiarowe	kąt pomiaru	ODCZYT									$L_{\dot{s}r}$ [-]	$L_{\dot{s}r,spr}$ [-]	f_{co} [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
S8/3/1	0°	38	38	35	40	36	40	36	40	36	39.6	39.6	21.4
S8/3/2	0°	40	38	40	38	38	38	38	38	40	38.7	38.7	23.5
S8/3/3	0°	33	32	38	38	33	38	30	34	28	37.8	37.8	18.5
S8/3/4	0°	40	38	38	37	37	36	39	38	40	38.1	38.1	22.8
S8/3/5	0°	36	38	38	38	38	36	38	38	38	37.6	37.6	22.9

Najmniejsza uzyskana wytrzymałość betonu to 18.5 MPa. Na podstawie uzyskanych wyników badań zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, klasę betonu oszacowano jako **C15/20**.

6.2.3 Ocena wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie)

Oceny wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie) dokonano na podstawie wyników badań, uzyskanych metodą „pull-off”. Badania obejmowały wykonanie 5 pomiarów w losowo wybranych fragmentach ścian badanego zbiornika i 5 losowo wybranych punktach na słupach. Szczegółowe wyniki badań zestawiono w tabelach 4 i 5.

TABELA 4. Wytrzymałość betonu na rozciąganie (odrywanie) dla ścian

	Wytrzymałość na odrywanie [MPa]	Śr. wytrzymałość na odrywanie [MPa]
punkt pomiarowy 1	1.68	1.66
punkt pomiarowy 2	1.89	
punkt pomiarowy 3	1.41	
punkt pomiarowy 4	1.49	
punkt pomiarowy 5	1.81	

TABELA 5. Wytrzymałość betonu na rozciąganie (odrywanie) dla słupów

	Wytrzymałość na odrywanie [MPa]	Śr. wytrzymałość na odrywanie [MPa]
punkt pomiarowy 1	1.78	1.68
punkt pomiarowy 2	1.90	
punkt pomiarowy 3	1.52	
punkt pomiarowy 4	1.42	
punkt pomiarowy 5	1.73	

Uzyskane wyniki charakteryzują się następującymi parametrami:

- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie dla ściany: $f_{tm, is} = 1.66 > 1.5 \text{ MPa}$

- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie dla słupów: $f_{tm,is} = 1.68 > 1.5 \text{ MPa}$
- minimalna wytrzymałość betonu na ściskanie w ścianach $f_c = 17.7 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa}$
- minimalna wytrzymałość betonu na ściskanie w słupach $f_c = 18.5 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa}$

UWAGA:

Badany beton spełnia wymagania wytrzymałościowe w zakresie wytrzymałości na odrywanie i nie spełnia kryterium w zakresie wytrzymałości na ściskanie dla zastosowania pewnych materiałów naprawczych.

6.3. Wyniki badań dla zbiornika nr 2

6.3.1 Ocena betonowej otuliny zbrojenia

Badania otuliny zbrojenia w płycie stropowej wykazały, że strefa zneutralizowanego betonu (wskaźnik pH poniżej 9) osiąga lokalnie głębokość około 13 mm. W konstrukcji ścian (w dolnej ich części dostępnej w trakcie badań) neutralizacja betonu praktycznie nie występuje. Grubość otuliny w płytach stropowych jest, tak jak w zbiorniku nr 1, okalnie mniejsza od 10 mm, oznacza to, że na pewnych obszarach stropu (znacznie większych niż w zbiorniku nr 1) betonowa otulina zbrojenia nie chroni skutecznie stali zbrojeniowej przed korozją.

6.3.2 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie

Na podstawie uzyskanych wyników badań, przeprowadzono stosowne obliczenia, wykorzystując założone równanie regresji jak w zbiorniku nr 1 w postaci:

$$f_{c,oi} = (0.041 L_{sr}^2 - 0.912 L_{sr} + 7.3)$$

Uzyskane wyniki badań oraz przeprowadzonych obliczeń zestawiono w Tabelach 6 i 7.

Tabela 6. Zestawienie wyników pomiarów sklerometrycznych dla zbiornika nr 1 (ściana)

miejsce pomiarowe	kąt pomiaru	ODCZYT										L _{śr}	L _{śr,spr}	f _{co}
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	[-]	[-]	[MPa]	
ściana	0 ⁰	28	28	32	30	30	32	30	32	32	31.6	31.6	14.2	

ściana	0 ⁰	32	34	32	30	32	30	32	30	32	31.6	31.6	16.5
ściana	0 ⁰	31	32	30	32	30	30	28	28	28	30.4	30.4	17.5
ściana	0 ⁰	34	32	30	32	34	34	32	34	36	33.1	33.1	17.7
ściana	0 ⁰	28	34	32	30	30	38	32	30	32	31.3	31.3	17.8

Najmniejsza uzyskana wytrzymałość betonu to 14.2 MPa. Na podstawie uzyskanych wyników badań zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, klasę betonu oszacowano jako **C15/20**.

TABELA 3. Wyznaczenie wytrzymałości betonu w słupach

miejsce pomiarowe	kąt pomiaru	ODCZYT									L _{śr}	L _{śr,spr}	f _{co}
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	[-]	[-]	[MPa]
S8/3/1	0 ⁰	36	38	35	36	36	40	36	40	36	39.6	39.6	20.4
S8/3/2	0 ⁰	40	36	40	38	35	38	38	38	36	38.7	38.7	23.0
S8/3/3	0 ⁰	31	32	36	38	32	36	30	33	28	37.8	37.8	17.5
S8/3/4	0 ⁰	38	37	39	37	36	36	39	40	38	38.1	38.1	22.4
S8/3/5	0 ⁰	34	37	38	37	38	36	38	34	38	37.6	37.6	21.8

Najmniejsza uzyskana wytrzymałość betonu to 17.5 MPa. Na podstawie uzyskanych wyników badań zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, klasę betonu oszacowano jako **C15/20**.

6.3.3 Ocena wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie)

Oceny wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie) dokonano na podstawie wyników badań, uzyskanych metodą „pull-off”. Badania obejmowały wykonanie 5 pomiarów w losowo wybranych fragmentach ścian badanego zbiornika i 5 losowo wybranych punktach na słupach. Szczegółowe wyniki badań zestawiono w tabelach 4 i 5.

TABELA 4. Wytrzymałość betonu na rozciąganie (odrywanie) dla ścian

	Wytrzymałość na odrywanie [MPa]	Śr. wytrzymałość na odrywanie [MPa]
punkt pomiarowy 1	1.98	1.61
punkt pomiarowy 2	1.37	
punkt pomiarowy 3	1.41	
punkt pomiarowy 4	1.49	
punkt pomiarowy 5	1.81	

TABELA 5. Wytrzymałość betonu na rozciąganie (odrywanie) dla słupów

	Wytrzymałość na odrywanie [MPa]	Śr. wytrzymałość na odrywanie [MPa]
punkt pomiarowy 1	1.78	1.71
punkt pomiarowy 2	1.90	
punkt pomiarowy 3	1.72	
punkt pomiarowy 4	1.32	
punkt pomiarowy 5	1.83	

Uzyskane wyniki charakteryzują się następującymi parametrami:

- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie dla ściany: $f_{tm, is} = 1.61 > 1.5 \text{ MPa}$
- średnia wytrzymałość betonu na odrywanie dla słupów: $f_{tm, is} = 1.71 > 1.5 \text{ MPa}$
- minimalna wytrzymałość betonu na ściskanie w ścianach $f_c = 14.2 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa}$
- minimalna wytrzymałość betonu na ściskanie w słupach $f_c = 17.5 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa}$

UWAGA:

Badany beton spełnia wymagania wytrzymałościowe w zakresie wytrzymałości na odrywanie i nie spełnia kryterium w zakresie wytrzymałości na ściskanie dla zastosowania pewnych materiałów naprawczych.

7. Analiza stanu technicznego zbiorników

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.

7.1. Zbiornik nr 1

Do wykonania konstrukcji zbiornika użyto betonu, beton jest sprawdzonym, najlepiej poznanym i najdłużej stosowanym materiałem w obiektach do wody przeznaczonej do spożycia (od czasów Cesarstwa Rzymskiego). Nigdy nie stwierdzono negatywnego oddziaływania betonu na wodę, materiał ten jest powszechnie uznany za całkowicie bezpieczny. Ewentualnym zagrożeniem dla zachowania wymaganych parametrów jakościowych wody mogą być przecieki wody przez konstrukcję zbiornika. Wykonane oględziny od strony wnętrza i w odkrywcę w ścianie ocieplającej nie wykazały przecieków przez konstrukcję ścian. Poważne wątpliwości budzi jednak stan pokrycia zbiornika, możliwe są przecieki wody przez pokrycie.

Badania potwierdziły, że konstrukcję zbiornika wykonano z betonu klasy nie niższej niż założono w projekcie. Nie stwierdzono widocznych rys w konstrukcji ścian zbiornika i innych oznak wskazujących na zagrożenie nośności. Ponadto dotychczasowa wieloletnia eksploatacja zbiornika potwierdziła, że konstrukcja ścian spełnia wymagania w zakresie nośności, konstrukcja ścian może bezpiecznie przenosić działające obciążenia. Zwrócić należy uwagę na lokalnie występujące ślady korozji zbrojenia w górnym paśmie ściany (poniżej stropu) o wysokości około 1.5 m.

Stwierdzono natomiast poważne zagrożenie dla stanu granicznej nośności płyt stropowych z uwagi na zbyt cienką otulinę zbrojenia i już widoczną w wielu miejscach

korozję prętów zbrojeniowych. Szczególnie zagrożone są żebra gdzie widoczne są liczne odspojenia betonu (ubytki betonu zalegały na dnie zbiornika). Przyczyną uszkodzeń korozyjnych betonu i zbrojenia jest zbyt mała grubość otuliny zbrojenia i jego stosunkowo niska jakość. Podkreślić należy, że beton w konstrukcji stropu narażony jest na istotne zagrożenie korozyjne. Woda w skroplinach osadzających się na stropie i ścianach powyżej poziomu wody w zbiorniku charakteryzuje się niską twardością. Taka woda wykazuje wysoką agresywność w stosunku do betonu (korozja ługująca). Miękka woda neutralizuje betonową otulinę zbrojenia co powoduje utratę jej zdolności ochronnych w stosunku do zbrojenia i rozpoczyna się proces korozji zbrojenia. Produkty korozji stali mają większą objętość od stali co powoduje rozsadzanie struktury betonu, odpadanie betonowej otuliny i intensywną korozję zbrojenia. Powszechnie przyjętą definicją okresu życia konstrukcji żelbetowej jest okres do wystąpienia korozji zbrojenia.

Istotne wątpliwości budzi stan pokrycia zbiornika i jego szczelność. Odspojenia i spękanie papy wskazują na możliwość przecieków wody przez pokrycie i możliwość zanieczyszczania wody. Uszkodzenia pokrycia spowodowane są normalną eksploatacją i stosunkowo niską jakością jego wykonania.

Nierówności ścian spowodowane są niestarannym przygotowaniem szalunku i niestarannym zagęszczaniem betonu. Nierówności te mogą utrudniać czyszczenie i dezynfekcję zbiornika.

Korozja drabiny i konstrukcji wjazdu spowodowana jest zastosowaniem zwykłej stali i brakiem bieżącej konserwacji powłok ochronnych. **Stan techniczny drabiny zagraża bezpieczeństwu pracowników obsługi.**

Od strony zewnętrznej zbiornika stwierdzono uszkodzenia w górnej części murku z cegły dziurawki i uszkodzenia tynku i izolacji na murku.

W wykonanej odkrywce ściany ocieplającej stwierdzono powierzchniową korozję stalowego szkieletu na którym zamocowano płyty PW8. Przyczyną tej korozji są naturalne procesy destrukcyjne w trakcie długoletniej eksploatacji i stosunkowo niska jakość powłok ochronnych.

Dla umożliwienia dalszej wieloletniej eksploatacji zbiornika konieczne jest wykonanie prac omówionych w pkt. 9.

7.2. Zbiornik nr 2

Ten zbiornik ma identyczną konstrukcję jak zbiornik nr 1. Tak więc także i w tym zbiorniku nie ma zagrożenia zdrowotnego dla wody od strony materiału konstrukcyjnego. Wykonane oględziny od strony wnętrza i w odkrywce w ścianie ocieplającej nie wykazały przecieków przez konstrukcję ścian. Poważne wątpliwości budzi jednak tak jak w zbiorniku nr 1 stan pokrycia zbiornika, możliwe są przecieki wody przez pokrycie.

Badania potwierdziły, że także konstrukcję tego zbiornika wykonano z betonu klasy nie niższej niż założono w projekcie. Stwierdzono jednak widoczną rysę w konstrukcji ściany zbiornika od strony zewnętrznej, poza tym nie stwierdzono innych oznak wskazujących na zagrożenie nośności. Rysa ma przebieg nieregularny, nie przebiega w miejscu maksymalnych wyteżeń konstrukcji. Dotychczasowa wieloletnia eksploatacja zbiornika potwierdziła, że konstrukcja ścian spełnia wymagania w zakresie nośności. Konieczny jest jednak dodatkowy szczegółowy przegląd konstrukcji ścian, który możliwy będzie w trakcie prac remontowych po całkowitym zdemontowaniu ścian osłonowych. Ten przegląd może ostatecznie potwierdzić zakres prac naprawczych związany z zarysowaniem konstrukcji. W tym zbiorniku ślady korozji zbrojenia w górnym paśmie ściany (poniżej stropu) o wysokości około 1.5 m są znacznie wyraźniej widoczne i obejmują większe obszary.

Stwierdzono poważne zagrożenie dla stanu granicznego nośności płyt stropowych z uwagi na zbyt cienką otulinę zbrojenia i już widoczną w wielu miejscach korozję prętów zbrojeniowych (na znacznie większych obszarach niż w zbiorniku nr 1). Szczególnie zagrożone są, tak jak w zbiorniku nr 1, żebra gdzie widoczne są liczne odspojenia betonu (ubytki betonu zalegały na dnie zbiornika). Przyczyną uszkodzeń korozyjnych betonu i zbrojenia jest zbyt mała grubość otuliny zbrojenia i jego stosunkowo niska jakość.

W tym zbiorniku także istotne wątpliwości budzi stan pokrycia zbiornika i jego szczelność. Odspojenia i spękanie papy wskazują na możliwość przecieków wody przez pokrycie i możliwość zanieczyszczania wody. Uszkodzenia pokrycia spowodowane są normalną eksploatacją i stosunkowo niską jakością jego wykonania.

Także w tym zbiorniku nierówności ścian spowodowane są niestarannym przygotowaniem szalunku i niestarannym zagęszczaniem betonu. Nierówności te mogą utrudniać czyszczenie i dezynfekcję zbiornika.

Korozja drabiny i konstrukcji wjazdu spowodowana jest zastosowaniem zwykłej stali i brakiem bieżącej konserwacji powłok ochronnych. Stan techniczny drabiny zagraża bezpieczeństwu pracowników obsługi.

Od strony zewnętrznej zbiornika stwierdzono uszkodzenia w górnej części murku z cegły dziurawki i uszkodzenia tynku i izolacji na murku.

W wykonanej odkrywce ściany ocieplającej stwierdzono powierzchniową korozję stalowego szkieletu na którym zamocowano płyty PW8. Przyczyną tej korozji są naturalne procesy destrukcyjne w trakcie długoletniej eksploatacji i stosunkowo niska jakość powłok ochronnych.

Dla umożliwienia dalszej wieloletniej eksploatacji zbiornika konieczne jest wykonanie prac omówionych w pkt. 9.

8. Wnioski końcowe

8.1. Zbiornik nr 1

8.1.1. Na podstawie wykonanych badań wytrzymałości betonu na ściskanie w słupach i ścianach zbiornika, klasę betonu oszacowano na C15/20, można więc uznać, że jest ona zgodna z założeniami projektu.

8.1.2. Wytrzymałość betonu na ściskanie może ograniczać zakres dostępnych materiałów naprawczych.

8.1.3. Na podstawie wykonanych badań wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie), średnią wytrzymałość na rozciąganie oszacowano na poziomie powyżej 1.5 MPa co zapewnia możliwość wykonania ewentualnych prac naprawczych.

8.1.4. Badania stopnia karbonatyzacji otuliny zbrojenia wskazują, że lokalnie głębokość karbonatyzacji w stropie osiąga 12 mm.

8.1.5. Aktualnie stan graniczny nośności konstrukcji ścian zbiornika nie jest zagrożony, **zagrożony jest stan nośności granicznej stropu zbiornika.** W trybie pilnym należy podjąć prace naprawcze.

8.1.6. Wykonany przegląd i badania zbiornika potwierdzają celowość jego dalszej wieloletniej eksploatacji, konieczne jest jednak wykonanie remontu, którego zakres określono w pkt.9.

8.2. Zbiornik nr 2

8.2.1. Na podstawie wykonanych badań wytrzymałości betonu na ściskanie w słupach i ścianach zbiornika, klasę betonu oszacowano na C15/20, można więc uznać, że jest ona zgodna z założeniami projektu.

8.2.2. Wytrzymałość betonu na ściskanie może ograniczać zakres dostępnych materiałów naprawczych.

8.2.3. Na podstawie wykonanych badań wytrzymałości betonu na rozciąganie (odrywanie), średnią wytrzymałość na rozciąganie oszacowano na poziomie powyżej 1.5 MPa co zapewnia możliwość wykonania ewentualnych prac naprawczych.

8.2.4. Badania stopnia karbonatyzacji otuliny zbrojenia wskazują, że lokalnie głębokość karbonatyzacji w stropie osiąga 13 mm.

8.2.5. Aktualnie stan graniczny nośności konstrukcji ścian zbiornika nie jest zagrożony, **zagrożony jest stan nośności granicznej stropu zbiornika.** W trybie pilnym należy podjąć prace naprawcze.

8.2.6. Konieczny jest szczegółowy przegląd ściany od strony zewnętrznej dla weryfikacji stanu technicznego i zaleceń naprawczych.

8.2.7. Wykonany przegląd i badania zbiornika potwierdzają celowość jego dalszej wieloletniej eksploatacji, konieczne jest jednak wykonanie remontu, którego zakres określono w pkt.9.

9. Wytoczne wykonania prac remontowych dla zbiorników

Wszystkie wyroby i urządzenia stosowane do remontu obiektów wodociągowych w zakresie wymagań technicznych powinny być zgodne z normą PN-EN 805. Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 roku (Dz.U. nr 72, poz 747) z późniejszymi zmianami określa m.in. regulacje dotyczące nadzoru nad materiałami, wyrobami i preparatami kontaktującymi się z

wodą przeznaczoną do spożycia. Artykuł 12.2 ustawy nakłada obowiązek uzyskania pozytywnej oceny higienicznej Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego dla każdego materiału i wyrobu używanego do uzdatniania i przesyłu wody przeznaczonej do spożycia. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku (Dz. U. nr 61, poz. 417) wprowadza obowiązek uzyskania oceny higienicznej właściwego terenowo państwowego powiatowego lub granicznego inspektora sanitarnego na zastosowanie każdego materiału lub wyrobu w instalacjach i urządzeniach służących do uzdatniania i przesyłania wody przeznaczonej do spożycia.

Zalecenia dyrektywy europejskiej 89/160/EWG zostały implementowane do przepisów polskich ustawą Prawo Budowlane (Dz. U. nr 89, poz. 414 z późn. zm.) a mandat M136 obwieszczeniem Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2004 roku. W rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 roku (Dz. U. nr 198, poz. 2041) dla wyrobów budowlanych kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia ustanowiono system oceny zgodności "1+". Według systemów "1" i "1+" odpowiedzialność za certyfikację zgodności wyrobu na podstawie deklaracji producenta i jednostki notyfikującej należy do trzeciej strony. Zalecenia dyrektywy 89/160/EWG zostały wprowadzone do polskiego prawa ustawą z dnia 16 kwietnia 2004 roku o wyrobach budowlanych (Dz. U. nr 92, poz. 88). Ustawa ta przewiduje funkcjonowanie dwóch systemów wprowadzania do obrotu: krajowy (oznakowany znakiem B) i europejski (oznakowany znakiem CE). Oznakowanie wyroby jest równoznaczne z dopuszczeniem wyrobu do obrotu i powszechnego stosowania. Normy wyrobów określają takie wymagania jak: trwałość, szczelność, wymiary, parametry wytrzymałościowe i inne związanych ze spełnieniem wymagań technicznych a nie wymagań związanych wpływem wyrobu na jakość wody. Dokumentem stwierdzającym przydatność wyrobu do zastosowania w systemach zaopatrzenia w wodę jest atest higieniczny wydawany przez NIZP-PZH. Zgodę na zastosowanie wyrobu wskazanego w projekcie, kontaktującego się z wodą przeznaczoną do spożycia, wydaje Powiatowy Inspektor Sanitarny na podstawie atestu wydanego przez NIZP-PZH. Powiatowego Inspektora Sanitarnego uprawnia do tego §18 rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku (Dz. U. nr 61, poz. 417).

Stan techniczny zbiorników umożliwia ich dalszą wieloletnią, bezpieczną eksploatację, konieczne jest jednak wykonanie następujących prac:

- a) pogrubienie (od strony wnętrza zbiornika) otuliny zbrojenia płyt stropowych,
- b) pogrubienie (od strony wnętrza zbiornika) otuliny zbrojenia ścian w paśmie o wysokości około 1.5 m poniżej konstrukcji stropu,
- c) wykonanie wyoblenia na połączeniu ściany i płyty dennej,
- d) wymiana drabiny żłazowej,
- e) wymiana stalowej konstrukcji wjazdu,
- f) demontaż ściany osłonowej z płyt PW8,
- g) oczyszczenie i pomalowanie konstrukcji wsporczej na której zamocowane są płyty osłonowe PW8,
- h) naprawa murku z cegły dziurawki,
- i) wymiana pokrycia stropu z wymianą obróbek blacharskich,
- j) wymiana drabiny zewnętrznej.

Pogrubienie (od strony wnętrza zbiornika) otuliny zbrojenia płyt stropowych i ściany wykonać można poprzez naniesienie metodą natrysku, warstwy zaprawy PCC o grubości nie mniejszej od 10 mm **odpornej na korozję ługującą**. Z technicznego punktu widzenia nie ma potrzeby wykonywania żadnych innych powłok ochronnych ani izolacyjnych. Nie ma też potrzeby dokładnego czyszczenia powierzchni ścian (oczywiście poza obszarem gdzie wykonywane będzie pogrubienie otuliny). Można wykonać oczywiście wyrównanie powierzchni ścian co ułatwiłoby jego eksploatację ale prace te byłyby pracochłonne i kosztowne. Kolejność prac przy pogrubianiu otuliny w konstrukcji powinna być następująca:

- dokładne oczyszczenie powierzchni betonu czyszczenie zaleca się wykonać metodą hydrodynamiczną, konieczne jest zastosowanie urządzenia o ciśnieniu roboczym nie mniejszym niż 1500 bar (takim urządzeniem powinna dysponować firma wykonawcza), tak aby tam gdzie to jest konieczne możliwe było usunięcie betonu wokół skorodowanego pręta, lokalnie konieczne może okazać się mechaniczne usunięcie betonu w strefie pręta zbrojeniowego,
- weryfikacja jakości czyszczenia poprzez kontrolę wzrokową oraz pomiary wytrzymałości na odrywanie, wytrzymałość na odrywanie nie powinna być mniejsza od 1 MPa,

- naniesienie metodą natrysku na matowo wilgotną powierzchnię warstwy materiału naprawczego o grubości nie mniejszej od 10 mm, zaleca się zastosować zaprawę klasy R4 zgodną z normą PN-EN 1504 oraz posiadającą atest PZH dopuszczający do kontaktu z wodą przeznaczoną do spożycia, zdecydowanie nie zaleca się wygładzania naniesionej warstwy zaprawy, zaprawa powinna charakteryzować się odpornością na korozję ługującą,
- pielęgnacja naniesionego materiału zgodnie z instrukcją producenta, zaleca się utrzymywanie materiału w stałej wysokiej wilgotności przez okres nie krótszy niż 5 dni,
- weryfikacja (po stwardnieniu) wytrzymałości naniesionej warstwy zaprawy SPCC na odrywanie, wytrzymałość ta nie powinna być mniejsza od 1 MPa.

Użyć można niżej wymienione zaprawy:

- MC Rimm PW 201 (produkt firmy MC Bauchemie),
- Immercret WP2 HS (produkt firmy Immerbau),
- EuroCret 20 HS (produkt firmy Hufgard Polska Sp. z o.o.).

Można zastosować inne materiały o potwierdzonej skuteczności w zakresie odporności na korozję ługującą spełniające wymagania normy PN-EN 1504 oraz posiadające atest PZH dopuszczający do kontaktu z wodą przeznaczoną do spożycia. Minimalne wymagania jakie powinien spełniać materiał naprawczy:

- odporność na środowiska o klasach ekspozycji XC1, XD2, XA1 (klasy ekspozycji wg PN-EN 206), **odporność na korozję ługującą**,
- wytrzymałość na ściskanie nie mniejsza od wytrzymałości na ściskanie naprawianego betonu, nie ma potrzeby stosowania materiałów naprawczych o wytrzymałości znacznie większej od wytrzymałości naprawianego betonu, wystarczająca będzie wytrzymałość na ściskanie nie mniejsza od 25 MPa,
- przyczepność do podłoża równa wytrzymałości naprawianego betonu na rozciąganie (zerwanie stempla pomiarowego powinno wystąpić w naprawianym betonie) lub nie mniej od 1.0 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%.

Wyoblenie o średnicy około 75 mm na połączeniu ściany zbiornika z dnem wykonać można materiałem PCC j.w. lub innym materiałem PCC o podwyższonej wodoszczelności.

Drabinę żłazową i właz wymienić należy na nowe ze stali nierdzewnej (00H17M14M2 wg normy 1.4404 gatunek 316L wg AISI USA lub innej o analogicznych właściwościach).

Pokrycie stropu należy usunąć i wykonać nowe z dwóch warstw papy termozgrzewalnej dobrej jakości. W trakcie wymiany pokrycia wskazana jest wymiana obróbek blacharskich na nowe z blachy cynkowo-tytanowej o grubości 0.6 mm. Nie zaleca się stosowania obróbek z tworzyw sztucznych. Na tym etapie wskazana jest także wymiana drabiny zewnętrznej na nową ze stali nierdzewnej j.w.

Demontaż ścian z płyt PW8 jest konieczny z następujących powodów:

- wykonanie dokładnej oceny stanu ścian zewnętrznych zbiornika, murku z cegły dziurawki i konstrukcji stalowej do mocowania płyt,
- oczyszczenie konstrukcji stalowej i wykonanie powłok ochronnych,
- naprawa lub wymiana murku z cegły dziurawki.

Czyszczenie konstrukcji stalowej zaleca się wykonać metodą strumieniowo-ścierną do stopnia czystości S1/2. Dobierając system farb antykorozyjnych przyjąć należy klasę korozyjności C3 lub C4 wg normy PN-EN-ISO 12944 i okres trwałości powłok dostosowany do wymagań Inwestora, zaleca się okres do 25 lat (H). Przyjąć należy stopień skorodowania powierzchni stalowych RI5. Zastosować można np. system Monoguard o grubości powłoki 400 µm, Telkyd S220 o grubości powłoki 300 µm lub inny równoważny np. firmy SIKA.

Prace remontowe zbiorników można wykonywać etapowo.

Etap I

Za najpilniejsze, konieczne do wykonania w trybie pilnym ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ludzi i obiektu uznać należy niżej wymienione prace:

- naprawę stropu poprzez oczyszczenie zbrojenia i pogrubienie otuliny zbrojenia,
- wymianę drabiny zejściowej.

Prace te powinny być wykonane w najbliższym sezonie budowlanym tj. w 2022 roku.

Etap II

W tym etapie wskazane jest wykonanie wymiany pokrycia dachowego połączone z wymianą obróbek blacharskich i drabiny zewnętrznej. Wskazane jest wykonanie tych prac w najbliższym sezonie budowlanym tj. w 2022 roku, jednak prace te mogą być wykonane w roku następnym.

Etap III

W tym etapie wskazane jest wykonanie pogrubienia otuliny zbrojenia ścian w zakresie wskazanym powyżej oraz wyoblenia pomiędzy ścianą a płytą denną. Prace te można wykonać w ciągu najbliższych 5 lat. Oczywiście korzystniejsze byłoby ich wykonanie wraz z realizacją naprawy stropu.

Etap IV

W tym etapie wykonać należy pozostałe prace. Ocenia się, że prace te można wykonać w terminie do 10 lat.

Wykonanie wszystkich prac wskazanych powyżej umożliwi dalszą bezpieczną eksploatację zbiornika przez okres minimum 25 lat bez konieczności prowadzenia jakichkolwiek prac remontowych (za wyjątkiem pokrycia stropu, które wymaga okresowej kontroli i konserwacji). Dla całego zakresu prac nie jest wymagane pozwolenie na budowę, wystarczy zgłoszenie.

Uwaga:

Zdecydowanie nie zalecam stosowania materiałów żywicznych do prac remontowych zbiorników.