



Ekspertyzy Naukowo Techniczne  
dr inż. Tomasz Pawlak  
Ul. Polna 64/7  
60-803 Poznań  
tel. 604-26-56-13  
NIP 779-206-62-13

**OPINIA DOTYCZĄCA STANU TECHNICZNEGO  
STALOWEGO ZBIORNIKA DW4500 WODY PITNEJ NA  
SUW ŚWIĘTA**

**Opracował:**

**dr inż. Tomasz Pawlak**

ENTiW dr inż. Tomasz Pawlak  
ul. Polna 64/7, 60-803 Poznań  
NIP 779-206-62-18  
REGON 631272879

**Poznań, styczeń 2023 r.**

## Spis treści

1. Podstawa opracowania.....	3
2. Przedmiot opracowania.....	3
3. Dokumentacja wyjściowa.....	3
4. Procesy korozji stali i ich naprawa w świetle Polskich Norm.....	3
5. Opis stanu technicznego stalowego zbiornika na SUW Święta.....	15
6. Proponowana technologia renowacji zbiornika.....	15
7. Podsumowanie i wnioski.....	19
8. Literatura.....	20
10. Załączniki.....	22

## **1. Podstawa opracowania**

Podstawą formalną opracowania było zlecenie Goleniowskich Wodociągów i Kanalizacji z siedzibą w Goleniowie ul. I Brygady Legionów 18A, 72-100 Goleniów z dnia 23.12.2022.

Podstawę merytoryczną stanowiły:

- Oględziny i pomiary inwentaryzacyjne własne,
- Dokumentacja projektowa,
- Przedmiotowa literatura techniczna i normy projektowania.

## **2. Przedmiot opracowania**

Przedmiotem opracowania jest ocena stanu technicznego istniejącego stalowego zbiornika wody pitnej zlokalizowanego na Stacji Uzdatniania Wody Święta wraz z podaniem technologii naprawy.

## **3. Dokumentacja wyjściowa**

Oględziny stanu technicznego konstrukcji.

Zdjęcia zbiornika

## **4. Procesy korozji stali i ich naprawa w świetle Polskich Norm.**

W tym punkcie zwrócono uwagę na wybrane procesy destrukcji (korozji) stali, występujące głównie z opiniowanych zbiornikach na wodę.

Stal należy do grupy podstawowych materiałów konstrukcyjnych. Konstrukcje stalowe są stosowane w budownictwie przemysłowym, komunikacyjnym, rolniczym, użyteczności publicznej i mieszkaniowym, konstrukcjach inżynierskich. W budownictwie przemysłowym ze stali wykonywane są: dachowe więzary kratowe, podciągi kratowe lub pełnościenne (najczęściej blachownice), płatwie, słupy, konstrukcje ramowe i szkieletowe, hale i wiaty, belki i estakady podsuwnicowe, kominy, wieże i maszty telekomunikacyjne, słupy energetyczne, galerie przemysłowe, zbiorniki, rurociągi, mosty, bariery energochłonne. W budownictwie ogólnym ze stali wykonywane są: belki, żebra, nadproża, podciągi, słupy, kratownice dachowe, szkielety budynków wysokich, kopuły, łuki, przekrycia strukturalne, konstrukcje hal (widowiskowych, sportowych, handlowych), zadaszenia, słupy. Powszechnie wyroby



budowlane stalowe stanowią pokrycia dachów i elewacji. Konstrukcje stalowe powinny być projektowane zgodnie z zasadami podanymi w normie PN-EN 1990 [1] i odpowiednich częściach normy PN-EN 1993 [2]. Stal powinna być dobierana z uwagi na uwarunkowania wytrzymałościowe, odporność na kruche pękanie, projektowanie połączeń, odporność na korozję. Podstawę zapewnienia trwałości konstrukcji stalowej w projektowym okresie użytkowania stanowią: odpowiednie zaprojektowanie, wykonanie, zabezpieczenie przed korozją oraz właściwe utrzymanie. Ogólnie bezpośrednio i pośrednio koszty korozji w Polsce szacuje się na poziomie 6–8% PKB. Nie wyszczególniono w nich kosztów korozji konstrukcji stalowych. Straty bezpośrednio to koszty wynikające z przedwczesnego zniszczenia skorodowanych elementów konstrukcji, usunięcia występujących szkód i skutków ewentualnych awarii korozyjnych, dokonania remontów wynikających ze zniszczeń korozyjnych. Straty pośrednie, trudniejsze do oszacowania, stanowią ekwiwalent wszystkich pozostałych ujemnych skutków gospodarczych i społecznych spowodowanych korozją. Zapobieganie korozji konstrukcji stalowych jest procesem technologicznoprojektowym i wykonawczym. Ze względu na zapewnienie trwałości metody zapobiegania rozwojowi korozji konstrukcji stalowych są rozwijane, udoskonalane i dostosowywane do wymagań zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych. Podstawą tych działań są: znajomość przyczyn powstawania korozji, umiejętność oceny rodzaju i zakresu uszkodzeń korozyjnych, prawidłowa ocena potencjalnych zagrożeń, powstania i postępu uszkodzeń korozyjnych podczas eksploatacji obiektu, stosowania zabezpieczeń przeciwkorozyjnych. Zasadnicze działania zapobiegawcze rozpoczynają się na etapie koncepcji i projektowania konstrukcji stalowej.

### **Korozja stali**

Korozja to niszczenie metali pod wpływem chemicznej lub elektrochemicznej reakcji z otaczającym środowiskiem. Termin „rdzewienie” dotyczy żelaza i jego stopów, a utworzone produkty korozji to w większości uwodnione tlenki żelaza. Stale to stopy żelaza z węglem, zawierające również inne dodatki celowe oraz niepożądane zanieczyszczenia śladowe. Są materiałami wrażliwymi na działanie różnych czynników chemicznych oraz fizycznych, a w warunkach użytkowania ulegają procesom korozji. Charakteryzują się mniejszą lub większą odpornością na działanie środowiska korozyjnego, na którą mają wpływ pierwiastki stopowe. Wpływ pierwiastków stopowych na odporność korozyjną stali jest zróżnicowany. Przykładowo, do pierwiastków zwiększających odporność korozyjną stopu należą chrom (Cr) i miedź (Cu) natomiast siarka (S) pogarsza odporność korozyjną stopu. Węgiel (C), podstawowy składnik stali, w roztworze stałym nie wywiera żadnego wpływu na odporność korozyjną. Natomiast po wydzieleniu się w strukturze w postaci węglików wpływ na odporność korozyjną jest ujemny. Na projektowaną, a następnie również rzeczywistą trwałość konstrukcji zasadniczy wpływ ma właściwe



rozpoznanie agresywności środowiska, w którym konstrukcja będzie użytkowana i określenie przewidywanych rodzajów korozji. Korozja przejawia się w wielu formach, w zależności od oddziaływań fizycznych i chemicznych występujących podczas użytkowania konstrukcji. Skutki procesów korozyjnych określa się jakościowo na podstawie obserwowanych zniszczeń faz metalicznych w zależności od rozmieszczenia zniszczeń. Korozja równomierna rozprzestrzenia się równomiernie na całej powierzchni przedmiotu metalowego. Ten rodzaj zniszczenia jest najmniej niebezpiecznym wynikiem działań korozyjnych. Nie wpływa bezpośrednio na zmianę własności wytrzymałościowych materiału, lecz pośrednio przez zmniejszenie przekroju poprzecznego przedmiotu. Korozja miejscowa obejmuje tylko pewne miejsca powierzchni elementu metalowego zaznaczone w postaci plam, punktów i wżerów. Ten rodzaj zniszczenia, zwłaszcza w postaci wżerów, które mogą osiągnąć znaczną głębokość, jest bardzo niebezpieczny dla materiału. Wpływa silnie na zmniejszenie własności wytrzymałościowych zarówno materiału, jak i konstrukcji. Szybkość procesów korozyjnych, w przypadku korozji równomiernej, najczęściej podaje się jako ubytek masy materiału na jednostkę powierzchni i czasu oraz jako ubytek grubości przekroju metalu na jednostkę czasu. Większość procesów korozyjnych ma charakter elektrochemiczny i zachodzi w środowiskach wilgotnych. Na powierzchni stali znajdują się miejsca o różnym składzie chemicznym. W zetknięciu się z roztworem elektrolitu powstają w tych miejscach różne potencjały, tworzą się mikroogniwa galwaniczne, w których żelazo jest anodą, a węgiel katodą. W obszarach anodowych żelazo ulega utlenieniu i przechodzi do roztworu. Równocześnie w roztworze zachodzi reakcja katodowa. Reakcję katodową przyspiesza obecność rozpuszczonego w roztworze tlenu. Na powierzchni tworzy się warstewka wodorotlenku żelaza (II). W kolejnych reakcjach następują przemiany chemiczne, powstaje rdza, której podstawowym składnikiem jest uwodniony tlenek żelaza (III). Proces rdzewienia ulega przyspieszeniu w obecności kwasów, roztworów soli, naprężeń metalu, przy styczności z metalem mniej aktywnym. Na tworzenie się ogniw korozyjnych mają wpływ również czynniki fizyczne (temperatura, wilgotność powietrza, naprężenia w sieci krystalicznej metalu, uszkodzenia mechaniczne). Poniżej opisano najczęściej występujące procesy korozyjne konstrukcji stalowych [3, 4, 5]. Korozja atmosferyczna jest typem korozji elektrochemicznej. Ma miejsce w atmosferze o wilgotności względnej powietrza, powyżej 70% ponieważ wówczas możliwa jest kondensacja pary wodnej na powierzchni elementu. Ponadto znaczenie mają temperatura i jej zmiany oraz ruch powietrza. Temperatura wpływa na szybkość reakcji chemicznych. Przy temperaturach ujemnych procesy korozji atmosferycznej metali praktycznie nie zachodzą. Dobowe zmiany temperatury znacząco wpływają na szybkość korozji, poprzez wydłużanie czasu zwilżania na skutek kondensacji wilgoci na powierzchni jak również poprzez zmiany stężeń elektrolitu podczas zwilżania i obsychania. Korozję atmosferyczną przyspieszają obecne w powietrzu



zanieczyszczenia: tlenki azotu, ditlenki siarki SO<sub>2</sub> i węgla CO<sub>2</sub>, sadze i pyły, zwiększające przewodnictwo i agresywność chemiczną elektrolitów na powierzchni metalu, powstających w wyniku kondensacji wilgoci. Wiatry mogą wpływać na czas zwilżania powierzchni i agresywność chemiczną elektrolitów, przenoszą gazy i pyły przemysłowe, a w strefach nadmorskich aerozol wody morskiej. Korozja naprężeniowa występuje w stalach niektórych gatunków na powierzchniach poddanych obróbce skrawaniem, na powierzchniach blach po odkształceniach mechanicznych oraz w elementach podlegających ciągłym naprężeniom. W wyniku naprężeń, powierzchnia stali staje się energetycznie jednorodna. Powstają miejsca bogatsze energetycznie, z których jony żelaza znajdujące się na powierzchni przechodzą do roztworu łatwiej niż z powierzchni nieuszkodzonej. Na powierzchni uszkodzonej zachodzi proces utleniania, następuje anodowe rozpuszczanie żelaza, powstają wżery. W obszarze katodowym będą zachodziły, w zależności od środowiska, procesy redukcji tlenu rozpuszczonego w elektrolicie lub redukcji kationów wodorowych. Korozja galwaniczna powstaje w wyniku kontaktu dwóch metali/stopów o różnych potencjałach, co powoduje wytworzenie się ogniwa galwanicznego, którego efektywność w środowisku korozyjnym zwiększa się ze wzrostem różnicy potencjałów stykających się ze sobą metali. Korozja wżerowa występuje szczególnie w środowiskach chlorków i innych halogenków. Atak korozyjny następuje w miejscach, gdzie warstwa tlenkowa jest osłabiona. W obszarach najmniejszej grubości warstwy pasywnej powstaje duży spadek potencjału przyspieszający przenikanie przez warstewkę tlenkową jonów np. Cl<sup>-</sup>. Po uszkodzeniu warstwy pasywnej jony metalu przechodzą do roztworu elektrolitu, gdzie częściowo hydrolizują z wytworzeniem zasadowych soli oraz jonów H<sup>+</sup> zakwaszających mikrośrodowisko wżeru. Z wżeru migrują do roztworu jony żelaza. Rozwój wżeru ulega z czasem przyspieszeniu ze względu na zwiększanie się w nim stężenia jonów chlorkowych i kwasowość elektrolitu, a obniżanie stężenia tlenu. Korozja międzykrystaliczna dotyczy procesu niszczenia występującego na granicach ziaren, postępującego w głąb materiału. Jest to trudny do zauważenia na powierzchni metalu, najgroźniejszy rodzaj zniszczenia, który powoduje silny spadek własności wytrzymałościowych elementu konstrukcji. Korozja przyspoinowa powstaje w miejscach spawania. W strefie działania wysokiej temperatury wzdłuż spoiny tworzą się węgliki przyspieszające rozwój procesów korozyjnych. Charakterystyczne objawy uszkodzeń korozyjnych obiektów stalowych przedstawiono na fotografiach 1–6. 3.

### **Korozyjność atmosfery**

Szybkość korozji stali oraz innych metali zależy od agresywności środowiska. Agresywność może być określana różnymi parametrami. Dla ujednoczenia zasad projektowania przyjęto pewne uproszczenia; zawarto je w normach. Dla konstrukcji i elementów metalowych istotna jest korozyjność atmosfery w następujących zakresach: • stale węglowe podstawowy metalowy materiał konstrukcyjny, • cynk –

stosowany powszechnie do zabezpieczenia konstrukcji metalowych, • aluminium (stopy aluminium) stosowane jako elementy elewacyjne, • miedź – stosowana jako materiał na pokrycia dachowe, elementy elewacji i obróbki. Dla uproszczenia przyjęto typowe (najczęściej stosowane) stopy stali węglowej i aluminium. Podstawowe informacje dotyczące klasyfikowania korozyjności atmosfery zawiera norma PN-EN ISO 9223 [6], w której podano następujące terminy i definicje:

- korozyjność atmosfery – zdolność atmosfery do powodowania korozji w określonym układzie korozyjnym,
- kategoria korozyjności atmosfery – standardowa ocena korozyjności atmosfery w odniesieniu do jednorocznych zmian korozyjnych,
- typ atmosfery – charakterystyka atmosfery na podstawie właściwych kryteriów klasyfikacji innych niż korozyjność lub czynników uzupełniających działanie (wiejska, miejska, przemysłowa, morska, chemiczna itd.),
- zespół temperatura-wilgotność – łączny wpływ temperatury i wilgotności względnej na korozyjność atmosfery,
- czas zwilżania – okres, podczas którego powierzchnia metalu pokryta jest adsorbentem i/lub warstwą roztworu elektrolitu mogącego powodować korozję atmosferyczną,
- poziom zanieczyszczenia – poziom liczbowy bazujący na ilościowych pomiarach specyficznych aktywnych substancji chemicznych, gazów korozyjnych lub pyłów zawieszonych w powietrzu (zarówno naturalnych, jak i będących wynikiem działalności człowieka) innych niż naturalne składniki powietrza,
- kategoria lokalizacji – zdefiniowane typowe warunki ekspozycji wyrobu lub konstrukcji (ekspozycja na wolnym powietrzu, pod osłoną, w przestrzeni zamkniętej itd.).

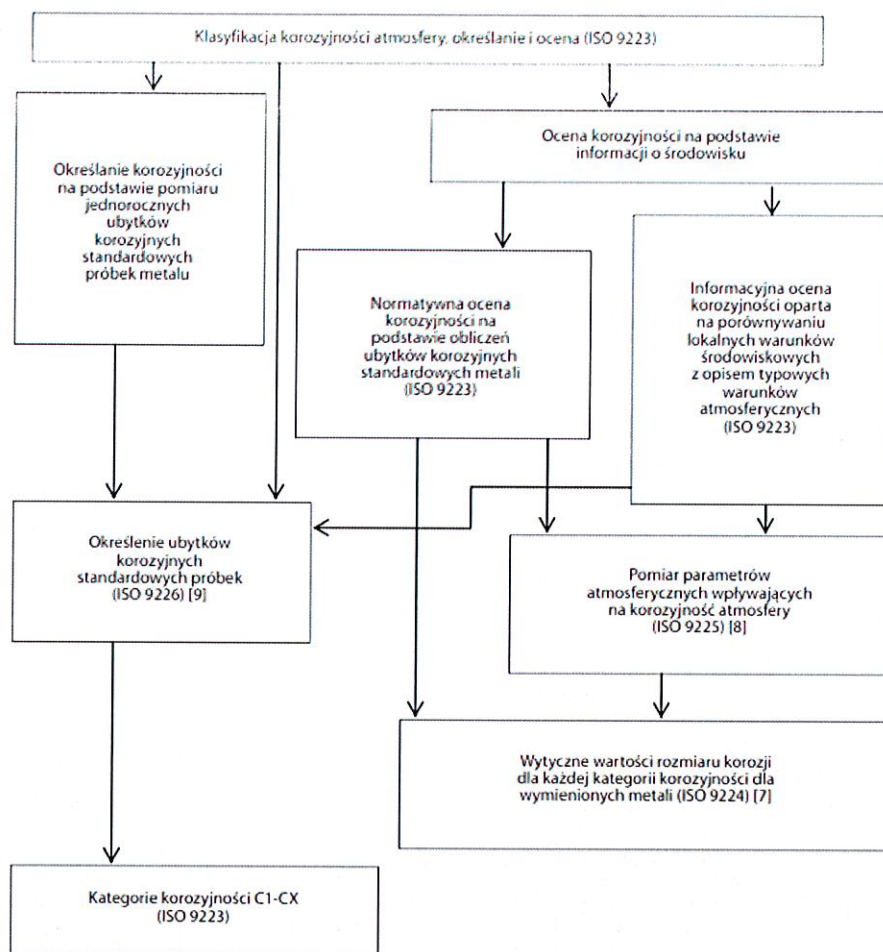
*Tabela 1. Kategorie korozyjności atmosfery i charakteryzująca je korozyjność [6]*

Kategoria	Korozyjność
C1	Bardzo niska
C2	Niska
C3	Średnia
C4	Wysoka
C5	Bardzo wysoka
CX	Ekstremalna

Ocena korozyjności atmosfery pozwala na zakwalifikowanie jej do odpowiedniej kategorii korozyjności. W tabeli 1 wymieniono kategorie i charakteryzujące je korozyjności. Wykonując ocenę korozyjności atmosfery należy uwzględnić warunki przedstawione na schemacie.



*Schemat. Algorytm postępowania podczas oceny korozyjności atmosfery*



*Tabela 2. Kategorie korozyjności atmosfery a ubytki korozyjne metali [6]*

Kategoria korozyjności	Ubytki korozyjne metali, $r_{\text{corr}}$				
	Jednostka	Stal węglowa	Cynk	Miedź	Aluminium
1	2	3	4	5	6
C1	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ $\mu\text{m}/\text{a}$	$r_{\text{corr}} \leq 10$ $r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$r_{\text{corr}} \leq 0,7$ $r_{\text{corr}} \leq 0,1$	$r_{\text{corr}} \leq 0,9$ $r_{\text{corr}} \leq 0,1$	nieistotne -
C2	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ $\mu\text{m}/\text{a}$	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$ $1,3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$0,7 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,7$	$0,9 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,6$	$r_{\text{corr}} \leq 0,6$ -
C3	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ $\mu\text{m}/\text{a}$	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$ $25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 15$ $0,7 < r_{\text{corr}} \leq 2,1$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 12$ $0,6 < r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$0,6 < r_{\text{corr}} \leq 2$ -
C4	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ $\mu\text{m}/\text{a}$	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$ $50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	$15 < r_{\text{corr}} \leq 30$ $2,1 < r_{\text{corr}} \leq 4,2$	$12 < r_{\text{corr}} \leq 25$ $1,3 < r_{\text{corr}} \leq 2,8$	$2 < r_{\text{corr}} \leq 5$ -
C5	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ $\mu\text{m}/\text{a}$	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1500$ $80 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$30 < r_{\text{corr}} \leq 60$ $4,2 < r_{\text{corr}} \leq 8,4$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$ $2,8 < r_{\text{corr}} \leq 5,6$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 10$ -
CX	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ $\mu\text{m}/\text{a}$	$1500 < r_{\text{corr}} \leq 500$ $200 < r_{\text{corr}} \leq 700$	$60 < r_{\text{corr}} \leq 180$ $8,4 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$50 < r_{\text{corr}} \leq 90$ $5,6 < r_{\text{corr}} \leq 10$	$r_{\text{corr}} > 10$ -

- Ubytki korozyjne, wyrażone w gramach na metr kwadratowy na rok [ $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ] są przeliczone na mikrometr na rok ( $\mu\text{m}/\text{a}$ ) i zaokrąglone.  
 - Standardowe materiały metalowe scharakteryzowano w ISO 9226.  
 - Aluminium ulega korozji jednorodnej i lokalnej. Ubytki korozyjne pokazane w niniejszej tabeli są obliczone jako korozja jednorodna. Maksymalna głębokość wżeru lub liczba wżerów może być lepszą miarą potencjalnych uszkodzeń. Zależy to od końcowego zastosowania. Korozji jednorodnej i lokalnej nie można oceniać po pierwszym roku ekspozycji z powodu wpływu pasywacji i zmniejszeniu ubytków korozyjnych.  
 - Ubytki korozyjne powyżej górnej granicy kategorii C5 uważa się za ekstremalne. Kategoria korozyjności CX odnosi się do szczególnych atmosfer, tj. morskiej i morskiej/przemysłowej.



**a) Korozyjność atmosfery określana na podstawie pomiaru ubytków korozyjnych standardowych próbek**

Jedną z metod oceny korozyjności atmosfery jest określenie ubytków korozyjnych próbek eksponowanych w ocenianym środowisku przez okres jednego roku. Badaniom poddaje się standardowe próbki w postaci blach umieszczone w sposób określony na stelażach. W klimacie Polski ekspozycja standardowych próbek powinna się rozpocząć wiosną lub jesienią. Wyników tych badań nie można bezpośrednio odnosić do zmian korozyjnych w długim okresie czasu, jednak dają one dość dobry pogląd o możliwości wystąpienia korozji i pozwalają na przybliżoną ocenę korozyjności atmosfery. Należy pamiętać, że często w obrębie jednego obiektu badawczego mogą występować różne oddziaływania, np.: przy poziomie terenu występuje wpływ chlorków z soli odladzających, od strony ruchliwej ulicy oddziaływanie agresywnych gazów takich jak np. tlenki siarki, azotu. Przy projektowaniu np. elewacji należy uwzględnić takie zwiększanie agresywności.

**b) Ocena korozyjności na podstawie informacji o środowisku Ocena korozyjności może być przeprowadzona metodą obliczeniową.**

Opiera się na wynikach badań środowiskowych zanieczyszczenia atmosfery. W badaniach określa się suchą depozycję  $SO_2$ ,  $Cl^-$ , temperaturę i wilgotność względną. Przedstawione w normie równania oparte są na wieloletnich badaniach wielu ośrodków na świecie. Wynikiem obliczeń są ubytki korozyjne metalu po pierwszym roku. Porównanie tych wyników z tabelą 2 pozwala na szacunkowe określenie korozyjności atmosfery. Ocenę korozyjności można również wykonać na podstawie opisu warunków użytkowania. Korozyjność atmosfery uzależniona jest od stopnia zanieczyszczenia środowiska agresywnymi związkami, wpływu układu temperatura-wilgotność oraz obejmuje czas zwilżania. W miejscach niezadaszonych czynnikiem wpływającym na korozję jest depozycja sucha (z gazów i cząstek obecnych w powietrzu) i mokra (z opadów). W miejscach osłoniętych, występuje sucha depozycja. Oceniając korozyjność atmosfery, powinno się uwzględniać skumulowany wpływ zanieczyszczeń, również cząstek stałych. Zwilżanie powierzchni spowodowane jest przez wiele czynników, między innymi przez rosę, deszcz, topniejący śnieg i wysoką wilgotność. Czas, podczas którego wilgotność względna powietrza przekracza 80% w temperaturze wyższej niż  $0^{\circ}C$  jest w celu oszacowania czasu zwilżania,  $\tau$ , korodujących powierzchni. Najważniejszym czynnikiem w układzie temperatura wilgotność jest poziom zanieczyszczenia ditlenkiem siarki i/lub zasolenie powietrza. Istotny może być również wpływ innych rodzajów zanieczyszczenia jak tlenki azotu gazy i pyły przemysłowe, różne



zanieczyszczenia eksploatacyjne i technologiczne charakterystyczne dla danej lokalizacji i mikroklimatu (np. kondensaty gazów i oparów przemysłowych).

*Tabela 3. Przykładowe środowiska charakteryzowane czasem zwilżania [6]*

Czas zwilżania h/a	Poziom	Przykłady występowania
1	2	3
$\tau \leq 10$	$\tau 1$	Mikroklimat wewnętrzny z kontrolą klimatyczną
$10 < \tau \leq 250$	$\tau 2$	Mikroklimat wewnętrzny bez kontroli klimatycznej z wyjątkiem pomieszczeń nieklimatyzowanych w wilgotnym klimacie
$250 < \tau \leq 2500$	$\tau 3$	Atmosfera zewnętrzna z suchym i zimnym klimatem i niektóre strefy klimatu umiarkowanego; prawidłowo wentylowane wiaty w klimacie umiarkowanym
$2500 < \tau \leq 5500$	$\tau 4$	Atmosfera zewnętrzna we wszystkich klimatach (z wyjątkiem suchego klimatu i zimnego klimatu); wentylowane wiaty w wilgotnych warunkach; niektóre wiaty w klimacie umiarkowanym
$5500 < \tau$	$\tau 5$	Niektóre strefy w klimacie wilgotnym; niewentylowane wiaty w wilgotnych warunkach

*Tabela 4. Przykładowe środowiska charakteryzowane stężeniem ditlenku siarki [6]*

Szybkość depozycji SO <sub>2</sub> mg/(m <sup>2</sup> ·d)	Stężenia SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	Poziom
1	2	3
$P_d \leq 4$	$P_c \leq 5$	P <sub>0</sub> Atmosfera wiejska
$4 < P_d \leq 24$	$5 < P_c \leq 30$	P <sub>1</sub> Atmosfera miejska
$24 < P_d \leq 80$	$30 < P_c \leq 90$	P <sub>2</sub> Atmosfera przemysłowa
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P <sub>3</sub> Wysoko zanieczyszczona atmosfera przemysłowa

*Tabela 5. Przykładowe środowiska charakteryzowane występującymi zanieczyszczeniami*

Zanieczyszczenie	Stężenie/depozycja (wartość średnioroczna)	Źródło
1	2	3
SO <sub>2</sub>	wiejska: 2–15 (µg/m <sup>3</sup> ) miejska: 5–100 (µg/m <sup>3</sup> ) przemysłowa: 50–400 (µg/m <sup>3</sup> )	Główne źródła SO <sub>2</sub> pochodzą z wykorzystania węgla i ropy naftowej oraz emisji z zakładów przemysłowych.
NO <sub>2</sub>	wiejska: 2–25 (µg/m <sup>3</sup> ) miejska: 20–150 (µg/m <sup>3</sup> )	Ruch uliczny jest głównym źródłem emisji NO <sub>2</sub> .
H <sub>2</sub> S	normalnie: 1–5 (µg/m <sup>3</sup> ) przemysłowa i hodowla zwierząt: 20–250 (µg/m <sup>3</sup> )	Występuje kilka naturalnych źródeł, na przykład bagna i aktywność wulkaniczna. Przemysł celulozowo-papierniczy i hodowla zwierząt generują najwyższe stężenia.
Cl-	0,1–200 (µg/m <sup>3</sup> ) – w zależności od położenia geograficznego 300–1500 (µg/m <sup>3</sup> ) – w atmosferze morskiej	Głównym źródłem są oceany oraz proces usuwania oblodzenia dróg.

W normie PN-EN ISO 9223 [6] przedstawiono zestawienie zanieczyszczenia środowiska dla typowych warunków eksploatacji w środowiskach wiejskich, miejskich i przemysłowych. W tabelach 3, 4 i 5 pokazano wybrane oddziaływania, które uwzględnia się w obliczeniach do oceny korozyjności. W załączniku C do normy PN-EN ISO 9223 [6] w tabeli C1 przedstawiono opis typowych warunków atmosferycznych odpowiadających ocenianej kategorii korozyjności. Zestawienie to może służyć do określania kategorii korozyjności. Tak wykonana ocena kategorii korozyjności będzie mniej dokładna niż ocena wykonana metodami opisanymi wcześniej. W przypadku typowych środowisk można się



posługiwać tym zestawieniem. Należy zawsze uwzględnić możliwość występowania różnych specjalnych oddziaływań np. część elementów konstrukcji może być w kontakcie ze środowiskiem o wyższej kategorii korozyjności niż określone w tabeli C1, zamieszczonej w normie. W tabeli 6 pokazano kilka przykładowych środowisk, wybranych z tabeli C1 w normie PN-EN ISO 9223 [6].

**Tabela 6. Opis warunków atmosferycznych odpowiadających kategoriom korozyjności**

Kategoria korozyjności	Korozyjność	Typowe środowiska – przykłady	
		Wewnątrz	Na zewnątrz
1	2	3	4
C2	Niska	Przestrzeń nieogrzewana o zmiennej temperaturze i wilgotności. Niska częstotliwość kondensacji i niskie zanieczyszczenie.	Strefa umiarkowana, atmosfera o niskim zanieczyszczeniu ( $SO_2 < 5 \mu g/m^3$ do $30 \mu g/m^3$ ), np. obszary wiejskie, małe miasta. Strefa sucha lub zimna, atmosfera o krótkim czasie zwilżania.
C3	Średnia	Przestrzeń o umiarkowanej częstotliwości kondensacji i umiarkowanym zanieczyszczeniu z procesów produkcyjnych: zakłady spożywcze, młoczarnie, pralnie, browary.	Strefa umiarkowana, atmosfera o średnim zanieczyszczeniu ( $SO_2: 5 \mu g/m^3$ ) lub o niewielkim wpływie chlorków, np. obszary miejskie, obszary przybrzeżne o niskiej depozycji chlorków. Strefa subtropikalna i tropikalna, atmosfera o niskim zanieczyszczeniu.
C4	Wysoka	Przestrzeń o wysokiej częstotliwości kondensacji i wysokim zanieczyszczeniu z procesów produkcyjnych, np. zakłady przemysłowe, pływalnie.	Strefa umiarkowana, atmosfera o wysokim zanieczyszczeniu ( $SO_2: 30$ do $90 \mu g/m^3$ ) lub z istotnym wpływem chlorków, np. zanieczyszczone obszary miejskie, obszary przemysłowe, obszary przybrzeżne nie spryskiwane wodą morską lub narażone na silny wpływ soli odladzających. Strefa subtropikalna i tropikalna, atmosfera o średnim zanieczyszczeniu.
C5	Bardzo wysoka	Przestrzeń o prawie zawsze występującej kondensacji i/lub o wysokim zanieczyszczeniu z procesów produkcyjnych, np. kopalnie, grotty do celów przemysłowych, niewentylowane pomieszczenia w strefach subtropikalnych i tropikalnych.	Strefa umiarkowana i subtropikalna, atmosfera o bardzo wysokim zanieczyszczeniu ( $SO_2: 90$ do $250 \mu g/m^3$ ) i/lub silnym wpływem chlorków, np. obszary przemysłowe, obszary przybrzeżne, miejsca osłonięte na linii brzegowej.

**c) Klasyfikacja atmosfer wewnętrznych o małej korozyjności** Klasyfikacja atmosfer wewnętrznych o małej korozyjności wykonywana jest zgodnie z normą PN-EN ISO 11844–1 [10].

Określaniu oddziaływania korozyjnego tych atmosfer dotyczy norma PN-EN ISO 11844–2 [11]. Atmosfery wewnętrzne o małej korozyjności, dla których klasyfikacja objęta normą PN-EN ISO 9223 [6] jest zbyt szeroka, to między innymi miejsca magazynowania urządzeń elektronicznych, wyrobów zaawansowanych technicznie, dzieł sztuki. Atmosfery te zostały sklasyfikowane według 5. kategorii, jak przedstawiono w tabeli 7. Przy określaniu korozyjności tych atmosfer bierze się pod uwagę: wpływ klimatu (atmosfera zewnętrzna z uwzględnieniem zanieczyszczenia), wpływ mikroklimatu wewnętrznego, zanieczyszczenie atmosfery wewnętrznej gazami i pyłami. Korozyjność atmosfery wewnętrznej rośnie wraz ze zwiększaniem się wilgotności i zależy od rodzaju i poziomu zanieczyszczeń.



**Tabela 7. Kategorie korozyjności atmosfer wewnętrznych [11]**

Kategoria korozyjności atmosfery wewnętrznej	
IC 1	Bardzo mała korozyjność atmosfery wewnętrznej
IC 2	Mała korozyjność atmosfery wewnętrznej
IC 3	Średnia korozyjność atmosfery wewnętrznej
IC 4	Duża korozyjność atmosfery wewnętrznej
IC 5	Bardzo duża korozyjność atmosfery wewnętrznej

Czynnikami charakteryzującymi korozyjność są: częstotliwość zmian w czasie wilgotności względnej (RH) i temperatury (T) oraz czas kondensacji. Atmosfery wewnętrzne są zanieczyszczone składnikami pochodzącymi ze źródeł wewnętrznych i zewnętrznych. Typowe środowiska w powiązaniu z korozyjnością atmosfery wewnętrznej opisane zostały w tabeli 8.

**Tabela 8. Opis typowych środowisk w powiązaniu z oceną kategorii korozyjności atmosfery wewnętrznej [11]**

Kategoria korozyjności (IC)	Korozyjność	Typowe środowiska
1	2	3
IC 1	bardzo mała atmosfery wewnętrznej	Przestrzeń ogrzewane, z kontrolowaną stałą wilgotnością względną (<40%) bez ryzyka kondensacji, niski poziom zanieczyszczeń, brak specyficznych zanieczyszczeń, np. pokoje komputerowe, muzea z kontrolowanym środowiskiem. Przestrzeń nie ogrzewane, z osuszaniem, niski poziom zanieczyszczenia atmosfery wewnętrznej, brak specyficznych zanieczyszczeń np. magazyny sprzętu wojskowego.
IC 2	mała atmosfery wewnętrznej	Przestrzeń ogrzewane, z niską wilgotnością względną (<50%) z pewnymi wahaniami wilgotności względnej bez ryzyka kondensacji, niski poziom zanieczyszczeń, brak specyficznych zanieczyszczeń, np. muzea, pokoje kontrolne. Przestrzeń nie ogrzewane, tylko ze zmianą temperatury i wilgotności, bez ryzyka kondensacji, niski poziom zanieczyszczenia bez specyficznych zanieczyszczeń, np. magazyny z niewielkim wahaniami temperatury.
IC 3	średnia atmosfery wewnętrznej	Przestrzeń ogrzewane, z ryzykiem wahań temperatury i wilgotności, średni poziom zanieczyszczeń, istnieje ryzyko wystąpienia specyficznych zanieczyszczeń, np. rozdzielnie w przemyśle energetycznym. Przestrzeń nie ogrzewane, z podwyższoną wilgotnością względną (<50-70%), z okresowymi wahaniami wilgotności względnej, bez ryzyka kondensacji, podwyższony poziom zanieczyszczenia, małe ryzyko specyficznych zanieczyszczeń, np. kościoły w rejonach nie zanieczyszczonych, zewnętrzne skrzynki telekomunikacyjne na obszarach wiejskich.
IC 4	duża atmosfery wewnętrznej	Przestrzeń ogrzewane, z wahaniami wilgotności i temperatury, podwyższony poziom zanieczyszczenia, łącznie ze specyficznymi zanieczyszczeniami, np. rozdzielnie prądu w zakładach przemysłowych. Przestrzeń nieogrzewane, z wysoką wilgotnością względną (<70%), z istnieniem ryzyka wystąpienia kondensacji, średni poziom zanieczyszczeń, możliwe oddziaływanie specyficznych zanieczyszczeń, np. kościoły w obszarach zanieczyszczonych, zewnętrzne skrzynki telekomunikacyjne w rejonach zanieczyszczonych.
IC 5	bardzo duża atmosfery wewnętrznej	Przestrzeń ogrzewane, z ograniczonym wpływem wilgotności względnej, wyższy poziom zanieczyszczeń, łącznie ze specyficznymi zanieczyszczeniami, jak H <sub>2</sub> S, np. rozdzielnie prądu, centrale telefoniczne w przemyśle bez skutecznej kontroli zanieczyszczenia. Przestrzeń nieogrzewane, z wysoką wilgotnością względną i ryzykiem wystąpienia kondensacji, średnie i wysokie poziomy zanieczyszczenia, np. magazyny w suterenach w rejonach zanieczyszczonych.

## Podsumowanie

Korozja konstrukcji stalowych stanowi znaczne obciążenie budżetu we wszystkich krajach. Podejmowane są działania mające na celu obniżenie kosztów bezpośrednich i pośrednich tego zjawiska.



Szybkość korozji stali zależy od działania czynników fizycznych i chemicznych obecnych w środowisku. Odporność korozyjna stali zależy od jej składu i struktury. Podstawowym działaniem, które podejmuje się projektując konstrukcję pod kątem trwałości, jest możliwie najdokładniejsza analiza i ocena agresywności chemicznej środowiska, obciążeń fizycznych wynikających z warunków klimatycznych i użytkowania oraz oddziaływań pochodzących od innych obiektów. Możliwy jest wówczas optymalny dobór rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, zaprojektowanie odpowiedniej ochrony przeciwkorozyjnej, zaplanowanie programu utrzymania. Prawidłowe rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe uwzględniające oddziaływania środowiskowe wpływają na obniżenie kosztów utrzymania konstrukcji i poprawę bezpieczeństwa ich użytkowania. Trwałość konstrukcji stalowych jest wypadkową rozwiązań konstrukcyjnych, odpowiedniego doboru technik zabezpieczania, prowadzenia systematycznych przeglądów i wykonywania niezbędnych prac naprawczych.

## **5. Opis stanu technicznego zbiornika stalowego na SUW Święta.**

Z przedstawionych dokumentów oraz dokonanej wizji lokalnej wynika, iż powierzchnia wewnętrzna posiada liczne ogniska korozji mimo wykonanej powłoki malarskiej o czym świadczą załączone zdjęcia umieszczone w załącznikach.

Po przeprowadzonej analizie oraz wizji stwierdzono, iż mamy do czynienia z zaawansowaną korozją stali, która doprowadziła do ubytków powłoki malarskiej szczególnie w dennicy zbiornika jak również zauważono ogniska korozji na ścianach oraz stropie. Powłoka malarska została wykonana w sposób niechlujny o czym świadczą ślady odcisniętych podeszw butów roboczych na ścianach zbiornika. Liczne pęcherze oraz ślady ognisk korozyjnych mogą również świadczyć o aplikacji powłoki malarskiej w nieodpowiednich warunkach atmosferycznych (zbyt wysoka wilgotność, punkt rosy itp.). Zjawisko to zaobserwowano również na przejściach przez ścianę (właz) oraz na samym włazie kontrolnym. Jeżeli chodzi o samą konstrukcję to jak w przypadku ścian nie zauważono ubytków stali spowodowanych korozją tak w części dennej mamy do czynienia z dość dużymi ubytkami stali. Ponieważ zbiornik w procesie napełniania i opróżniania poddany jest zróżnicowanej wielkości obciążeń statycznych co powoduje odkształcenia dennicy to istniejąca „sztywna” powłoka malarska nie spełnia swojego zadania - pęka i odpada. Tak też w miejscach bezpośredniego kontaktu wody ze stalą dochodzi do kolejnego ogniska korozji a to dalej prowadzi do zmniejszenia grubości dennicy i co za tym idzie osłabienia tej części konstrukcji. Ze względu na powyższą sytuację zbiornik **należy poddać natychmiastowej renowacji aby nie doprowadzić do osłabienia konstrukcji i wystąpienia awarii budowlanej.**



## **6. Proponowana technologia renowacji zbiornika.**

Jedynym słusznym rozwiązaniem problemu, przez panujące środowisko wodne wewnątrz zbiornika będzie zastosowanie metody, która całkowicie odetnie medium od konstrukcji. Proponuje się zastosowanie technologii membrany polimocznikowej na powierzchni ścian zbiornika, natomiast dla mocno skorodowanej dennicy proponuje się zastosowanie technologii, która po pierwsze naprawi „konstrukcyjnie” ubytki (dennica), następnie odizoluje wilgoć i na koniec zamknie dostęp środowiska przez zastosowanie odpowiedniej membrany polimocznikowej.

Poniżej opisano właściwą technologię naprawy powierzchni wewnętrznych zbiornika SUW Święta.

Ze względu na panujące środowisko oraz zaawansowaną korozję powierzchni wewnętrznych zaleca się wykonanie renowacji w technologii natrysku membrany polimocznikowej a samej dennicy w technologii trójwarstwowej; polega ona na tym, że po wykonanej renowacji otrzymujemy wewnątrz zbiornika nową grubą powłokę (membranę) a na dennicy nową konstrukcję składającą się z pierwszej warstwy membrany polimocznikowej, sztywnego PU (poliuretanu) oraz ponownie polimocznika co zapewni jej długotrwałą żywotność oraz bardzo wysoką odporność na działające środowisko.

### **6.1. Ściany Zbiornika:**

#### **6.1.1. Przygotowanie podłoża**

Naprawiane powierzchnie powinny być wolne od kurzu, sadzy, tłuszczów, smarów, środków antyadhezyjnych itp. Przygotowanie podłoża stalowego ma polegać na usunięciu starej powłoki wewnętrznej metodą strumieniowo ścierną poprzez piaskowanie (korundowanie) aż do „zdrowej” warstwy.

#### **6.1.2. Wykonanie warstwy szepnej na całej powierzchni wewnętrznej**

Przygotowane, oczyszczone i wysuszone podłoże należy pokryć primerem epoksydowym do stali, aby poprawić przyczepność membrany do konstrukcji stalowej. Wykonanie warstwy naprawczej.

#### **6.1.3. Prace wykończeniowe i aplikacja membrany**

Po wykonaniu powyższych prac, przygotowane podłoże należy ponownie pokryć polimocznikiem za pomocą specjalistycznego sprzętu (Reaktor) metodą natrysku 150-240bar wykonać warstwę antykorozyjną i uszczelniającą Polyurea 100%. Membrana polimocznikowa została dobrana ze względu na panujące w komorach środowisko agresywne w postaci siarkowodoru – parametry membrany podano poniżej. Obciążenie konstrukcji ściekami lub wodą może nastąpić po kilku minutach po aplikacji powłoki.

Parametry techniczne membrany polimocznikowej:

Parametr	Wartość typowa*	Metoda
Wytrzymałość na rozciąganie po 24h	min. 16 MPa	EN ISO 527
Wydłużenie przy zerwaniu po 24h	min. 400 %	EN ISO 527
Wytrzymałość na rozciąganie (min)	22 MPa	EN ISO 527
Wydłużenie przy zerwaniu (min)	450%	EN ISO 527
Przyczepność do podłoża (stal)	>5 MPa	EN ISO 4624
Przyczepność do podłoża (beton)	>1.5 MPa	EN 1542
Twardość Shore'a	96A, 45D	EN ISO 868
Ścieralność (indeks Tabera, 1000g/1000 cykli, koła H22)	<100 mg	EN ISO 5470-1
Mostkowanie rys (-20°C)	Klasa A5 (>2.5 mm)	EN 1062-7
Nasiąkliwość wodą (7 dni)	do 2%	-

## 6.2. Dennica:

6.2.1. Prace czyszczące jak w punkcie 6.1

6.2.2. Wykonanie warstwy odcinającej na całej powierzchni wewnętrznej

Przygotowane i wysuszone podłoże należy pokryć membraną polimocznikową za pomocą specjalistycznego robota natryskowego z głowicą obrotową w celu uzyskania jednolitej powierzchni. Przy większych ubytkach można aplikację wykonać ręcznie za pomocą pistoletu natryskowego.

6.2.3. Wykonanie warstwy naprawczej

Jako warstwę naprawczą i reprofilującą ściany konstrukcji zastosować sztywną pianę zamknięto-komórkową o gęstości minimalnie 100 kg/m<sup>3</sup> a maksymalnie 120 kg/m<sup>3</sup> w celu zapewnienia odpowiedniej sztywności w połączeniu z nie dużą elastycznością. Proces należy przeprowadzić przy użyciu specjalistycznego robota natryskowego, zamontowanego na konstrukcji umożliwiającej uzyskanie jednorodnej i monolitycznej powierzchni.

6.2.4. Prace wykończeniowe i aplikacja membrany

Po wykonaniu powyższych prac, przygotowane podłoże należy ponownie pokryć polimocznikiem za pomocą specjalistycznego sprzętu (Reaktor) metodą natrysku 150-240bar wykonać warstwę antykorozyjną i uszczelniającą Polyurea 100%. Membrana polimocznikowa została dobrana ze względu na panujące w komorach środowisko agresywne w postaci siarkowodoru – parametry membrany podano poniżej. Obciążenie konstrukcji ściekami lub wodą może nastąpić po kilku minutach po aplikacji powłoki.



## 7. Podsumowanie i wnioski

1. Niezwłocznie należy przystąpić do robót renowacyjnych całych powierzchni wewnętrznych zbiornika stalowego.
2. Budowla jest poddana ciągłemu oddziaływaniu środowiska wodnego, bezpośrednio przez ciecz jak i zmieniające się obciążenia statyczne (napełnianie, opróżnianie).
3. Na czas robót należy wyłączyć zbiornik z eksploatacji, poprzez zastosowanie by-passu i zastąpienie zbiornika zbiornikiem zastępczym.
4. Wykonać czyszczenie mechaniczne w postaci piaskowania istniejącej powłoki malarskiej do klasy czystości Sa2.
5. Ocenic fragmenty wymagające ewentualnego śrutowania lub skuwania.
6. Wykonać piaskowanie oczyszczając elementy wyposażenia zbiornika – podesty, rurociągi itp.
7. Osuszyć nagrzewnicą spalinową z rękawem elastycznym.
8. Pokryć wewnętrzną powierzchnię primerem epoksydowym lub poliuretanowym i następnie wykonać natrysk membrany odcinającej w postaci polimocznika.
9. Dla dennicy dodatkowo zastosować natrysk sztywnego poliuretanu zamknięto-komórkowego metodą natryskową grubości ok. 1-2cm.
10. Zamknąć sztywny poliuretan membraną polimocznikową odporną na działające w wody.
12. Renowacja musi skutkować skuteczną ochroną budowli ciągle narażoną na korozję stalowych powierzchni.

Opinię wykonano na podstawie dostępnych na rynku materiałów, produktów i technologii.

Wybrano dla powyższego zadania najkorzystniejszą metodę renowacji.

Spełnienie wymagań zawartych w powyższej opinii zapewni długotrwałą eksploatację piaskownika przez długie lata.

Opracował

dr inż. Tomasz Pawlak





## 8. Literatura

- [1] PN-EN 1990:2004 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji
- [2] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [3] PN-EN 10025: 2007 Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Części 1-6
- [3] Wranglen G., Podstawy korozji i ochrony metali, WNT Warszawa 1975
- [4] Uhlig Herbert H., Korozja i jej zapobieganie, WNT Warszawa 1976
- [5] Branko N. Popov., Corrosion engineering. Principles and solved problems, Elsevier B.V. 2015
- [6] PN-EN ISO 9223:2012 Korozja metali i stopów. Korozyjność atmosfer. Klasyfikacja, określanie i ocena
- [7] PN-EN ISO 9224:2012 Korozja metali i stopów. Korozyjność atmosfer. Ilościowe charakterystyki kategorii korozyjności
- [8] PN-EN ISO 9225: 2012 Korozja metali i stopów. Korozyjność atmosfer. Pomiar parametrów środowiskowych mających wpływ na korozyjność atmosfer
- [9] PN-EN ISO 9226:2012 Korozja metali i stopów. Korozyjność atmosfer. Ocena korozyjności na podstawie określania szybkości korozji w próbkach standardowych
- [10] PN-EN ISO 11844-1:2010 Korozja metali i stopów. Klasyfikacja atmosfer wewnętrznych o małej korozyjności. Część 1: Określanie i ocena korozyjności atmosfer wewnętrznych
- [11] PN-EN ISO 11844-2:2010 Korozja metali i stopów. Klasyfikacja atmosfer wewnętrznych o małej korozyjności. Część 2: Określanie oddziaływania korozyjnego atmosfer wewnętrznych

Opracował



dr inż. Tomasz Pawlak

# ZAŁĄCZNIKI

---





Zdj. 1. Widok zbiornika przeznaczonego do renowacji.

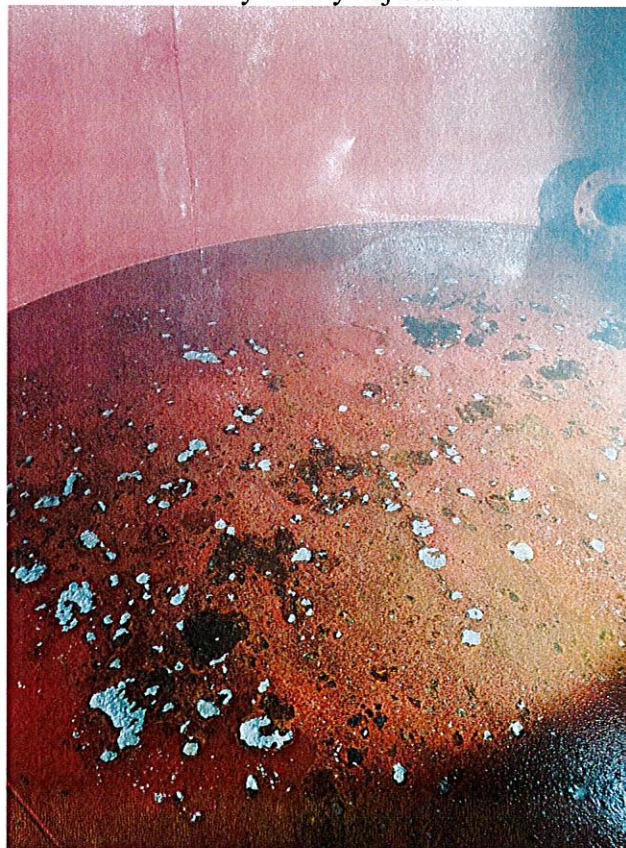


Zdj. 2. Dennica zbiornika – brak izolacji widoczna warstwa penetratora (podkładu)



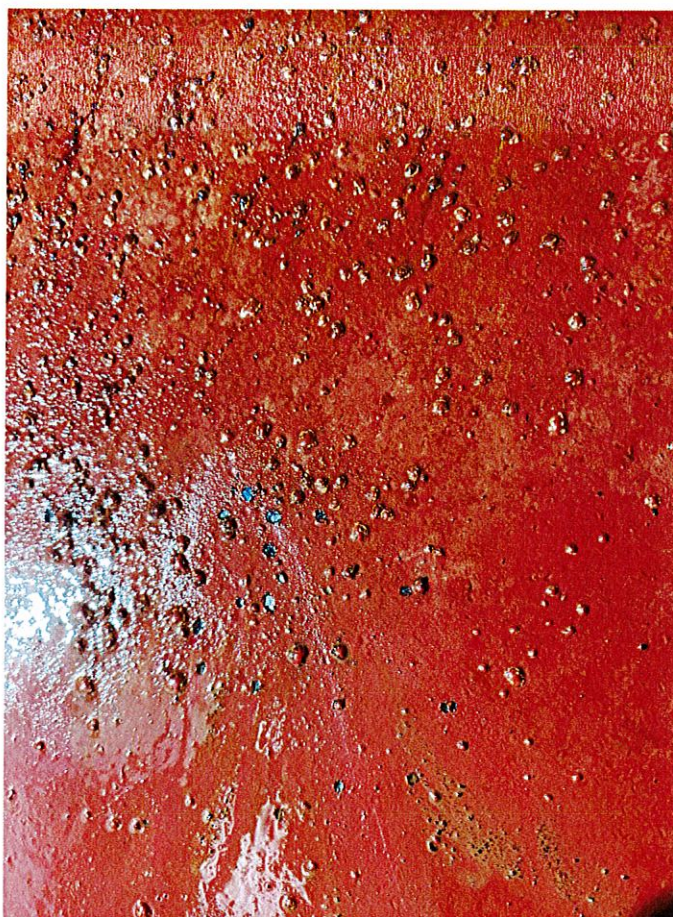


Zdj. 3. Dennica zbiornika – brak izolacji widoczna warstwa penetratora (podkładu), widoczne wżery do czystej stali.

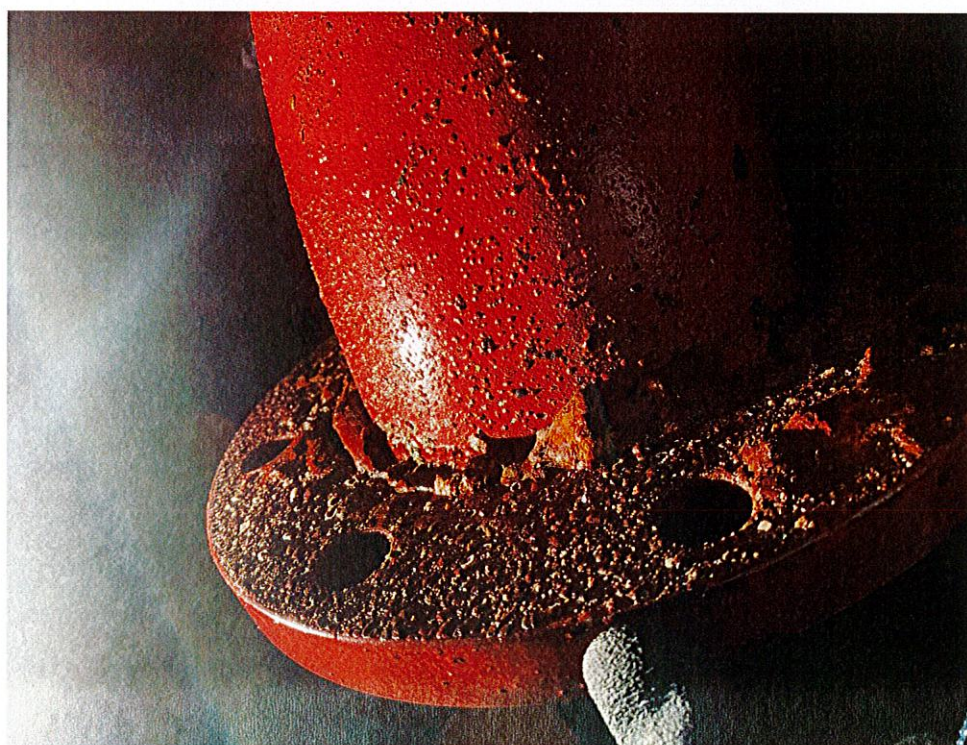


Zdj. 4. Dennica zbiornika – widoczne wżery.



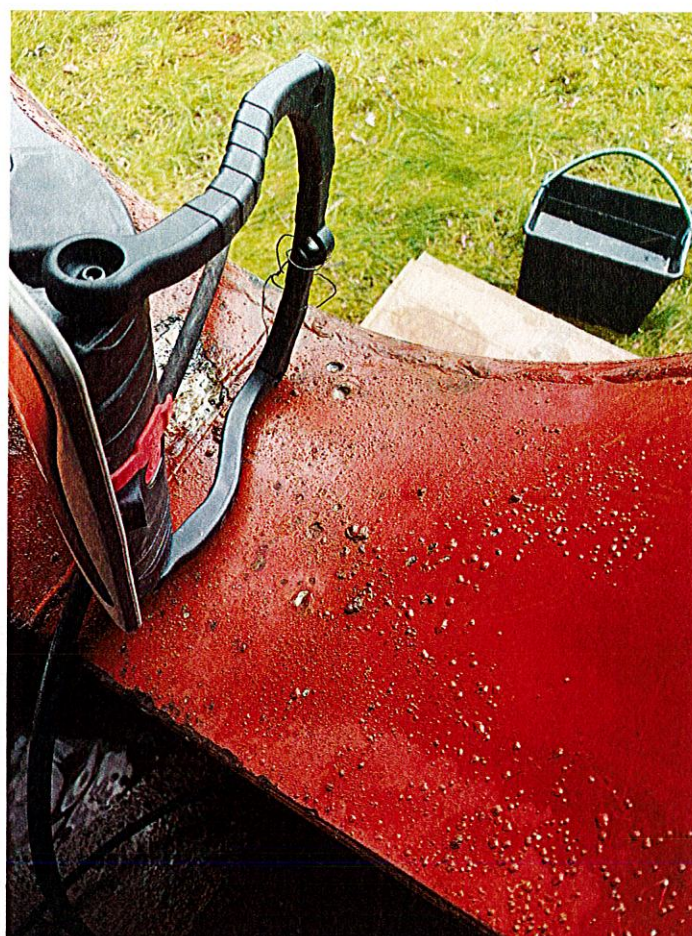


Zdj. 5. Ściany zbiornika – widoczne pęcherze.



Zdj. 6. Korozja armatury – widoczne pęcherze oraz rdza.





Zdj. 7. Oznaki korozji na włączniku kontrolnym – widoczne pęcherze oraz rdza.