



KOROZJA OCYNKOWANYCH RUR STALOWYCH DO PRZESYŁU WODY CIEPŁEJ UŻYTKOWEJ



**PAWEŁ
GRZEŚKOWIAK**

Główny Specjalista
ds. Badań Materiałowych
Dział Badań Laboratoryjnych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Poznaniu



**MAGDALENA
JAKUBOWSKA**

Starszy Specjalista
ds. Badań Materiałowych
Dział Badań Laboratoryjnych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Poznaniu

W ARTYKULE PRZEDSTAWIONO PRZYKŁAD PRZEDWCZESNEJ KOROZJI STALOWYCH RUR OCYNKOWANYCH WYKONANYCH ZE STALI P235, STOSOWANYCH DO TRANSPORTOWANIA WODY CIEPŁEJ UŻYTKOWEJ Z KOTŁOWNI DO BUDYNKÓW MIESZKALNYCH. W WARTUNKACH WYSOKIEJ TEMPERATURY ORAZ AGRESYWNEGO ŚRODOWISKA, PO KRÓTKIM OKRESIE UŻYTKOWANIA, TO JEST PO 3 LATACH, POJAWIŁO SIĘ WIELE NIESZCZELNOŚCI I WYCIEKÓW, KTÓRYCH POWODEM BYŁY LICZNE PERFORACJE KOROZYJNE RUR.

Wyniki badań wykorzystanych w ramach ekspertyzy materiałowej, tj. badania metalograficzne, pomiar grubości powłoki cynkowej, oznaczenie składu chemicznego, badania fizykochemiczne wody oraz osadu pobranego z materiału badanego, wskazują na występowanie korozji wżerowej oraz podosadowej, na którą największy wpływ miały zbyt duża temperatura wody na wyjściu z instalacji oraz stan wykonanego zgrzewu.

INSTALACJE PRZESYŁU CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Rury do budowy instalacji przesyłu wody ciepłej użytkowej w zakresie średnic 10–100 mm w celu zabezpieczenia ich przed szkodliwym działaniem korozyjnym powleka się zwykle na zewnątrz i wewnątrz ochronną warstwą cynku.

Do połączenia rur stalowych często stosuje się połączenia gwintowane stałe i rozłączne, a sam koniec rury nacina się gwintem rurowym stożkowym. Aby uzyskać szczelne połączenie, pomiędzy oba gwinty nanosi się materiał uszczelniający w postaci np. włókna konopnego albo lnianego nawilżonego pokostem lub inne materiały, takie jak taśma teflonowa oraz pasty. W miejscach rozłącznych instalacji stosuje się dwuzłączki.

Przyczyn zniszczenia rur, głównie w postaci korozji wżerowej, można upatrywać w wielu obszarach, przy czym dominującym jest mechanizm w układach zimnej oraz ciepłej wody użytkowej [1]. W ocenie stopnia zniszczenia rur należy uwzględnić m.in. wpływ jakości materiału (grubość i szczelność powłoki ochronnej), oddziałującego środowiska, jakość wykonania oraz warunki eksploatacji instalacji.

GŁÓWNE CZYNNIKI PRZYSPIESZAJĄCE NISZCZENIE KOROZYJNE STALOWYCH RUR OCYNKOWANYCH

WPLYW TEMPERATURY [2]

Wzrost temperatury transportowanej wody przyczynia się do zwiększenia podatności na tworzenie się pęcherzy w powłoce cynkowej, których otoczenie stanowi bardzo często obszary anodowe. Temperatura również ma duży wpływ na reakcję katodową, polegającą na zwiększeniu redukcji tlenu ze względu na wzrost grubości powierzchniowej warstwy tlenku cynku (stanowiącego katodę) o właściwościach półprzewodnikowych.

W systemie zaopatrzonej w zimną wodę, której temperatura nie przekracza 35°C, korozja wżerowa objawia się głównie przez tworzenie wżerów spowodowanych powstawaniem tlenowego ogniwa stężeniowego w wyniku różnego napowietrzenia (pod osadami) oraz korozyjnego ogniwa galwanicznego poprzez kontakt z bardziej szlachetnym metalem (otwarty kontakt cynk–żelazo) [3]. W wyniku niszczenia warstwy cynku zwiększa się zawartość żelaza w strumieniu wody, czemu towarzyszy wytrącenie rdzawego osadu [4].

System z ciepłą wodą ($T_{H_2O} > 35^\circ\text{C}$) charakteryzuje się tworzeniem wżerów w miejscach uprzywilejowanych, takich jak defekty powłoki metalowej, oraz pod osadami. Ogniwo korozyjne powstaje pomiędzy cynkiem a tlenkiem cynku, którego właściwości półprzewodnikowe zwiększają katodową redukcję tlenu. Korozja wżerowa w ciepłej wodzie jest również wynikiem tworzenia się pęcherzy wodoru powodujących oddzielenie powłoki od podłoża po jego adsorpcji do styku faz cynk–żelazo. W miejscach odsłoniętych, o różnym stopniu napowietrzenia mogą powstawać również lokalne anody [5].

Liczne prace wskazują, że w temperaturze do 50°C cynk tworzy przyzlepłą warstwę dającą dobrą ochronę metalu [6]. W temperaturze powyżej 55°C warstwa cynku traci swoje właściwości ochronne poprzez utratę przyzlepności. Przy temperaturze 60–70°C następuje zmiana biegunowości pary Zn–Fe (cynk–żelazo) na niekorzyść żelaza, gdyż względem cynku stal staje się anodą powodującą szybką lokalną korozję. Według badań Coxa maksimum szybkości korozji cynku występuje przy temperaturze 65°C (4 mm/rok), przy czym w temperaturze 55°C – około 0,37 mm/rok [6].

UWAGA!

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690) instalacja ciepłej wody powinna umożliwiać uzyskanie w punktach czerpalnych wodę o temperaturze nie niższej niż 55°C i nie wyższej niż 60°C, a w przypadku dezynfekcji cieplej niezbędne jest zapewnienie uzyskania w punktach czerpalnych temperatury wody nie niższej niż 70°C i nie wyższej niż 80°C, co całkowicie eliminuje rury stalowe ocynkowane w instalacjach ciepłej wody użytkowej [7].

WPLYW PARAMETRÓW WODY [2]

Występowanie jonów chlorkowych, siarczanowych oraz azotanowych migrujących do anody w polu elektrycznym ogniwa korozyjnego przyspiesza procesy korozyjne. Obecne w wodzie jony wodorowęglanowe będące inhibitorami katodowymi nie są w stanie zneutralizować środowiska kwaśnego powstałego wewnątrz wżerów.

W roku 2001 po raz pierwszy w Polsce przedstawiono zalecenia dla projektantów instalacji wodociągowych uwzględniające dla materiałów, takich jak stal ocynkowana, stal nierdzewna, miedź, tworzywa sztuczne, wskaźniki określające agresywność korozyjną wód wodociągowych [8]. W roku 2006 ukazała się Polska Norma – Norma Euro (PN-EN 12502-3:2006), w której przedstawiono sposoby określania agresywności korozyjnej wody pitnej za pomocą wskaźnika S_1 [9]:

$$S_1 = \frac{c(\text{Cl}^-) + c(\text{NO}_3^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)}$$

$c(\text{Cl}^-)$ – stężenie jonów chlorkowych w mmol/l,
 $c(\text{NO}_3^-)$ – stężenie jonów azotanowych w mmol/l,
 $c(\text{SO}_4^{2-})$ – stężenie jonów siarczanowych w mmol/l,
 $c(\text{HCO}_3^-)$ – stężenie jonów wodorowęglanowych w mmol/l.

Zgodnie z normą PN-EN 12502-3:2006 korozja przebiega powoli, gdy $S_1 < 0,5$, szybko zaś, gdy $S_1 > 3$.

WPLYW CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI WEWNĘTRZNEJ ORAZ STANU SZWU SPAWALNICZEGO [2]

Powierzchnia chropowata z powodu swojej ziarnistości oraz niejednorodności jest bardziej podatna na powstawanie lokalnych anod niż powierzchnia gładka. Stan wewnętrzny szwu spawalniczego o nieregularnym kształcie także może doprowadzić do powstania obszarów anodowych. Według normy PN-EN 12502-3:2006 kształt wewnętrzny szwu spawalniczego powinien być regularny.

MATERIAŁ DO BADAŃ

Do badań laboratoryjnych dostarczono próbki czterech rur, w tym dwie DN 50 oraz dwie DN 65 (rys. 1). Wszystkie próbki miały długość ok. 50 cm i zostały wykonane z materiału o gatunku P235GH. Wszystkie badane rury miały szwy, a charakterystyczne osady występowały głównie w ich obszarze.



Rura nr 4



Rura nr 3



Rura nr 2



Rura nr 1



Próbki wody do analizy zostały pobrane na terenie zakładu z następujących miejsc:

1 – z kotła,

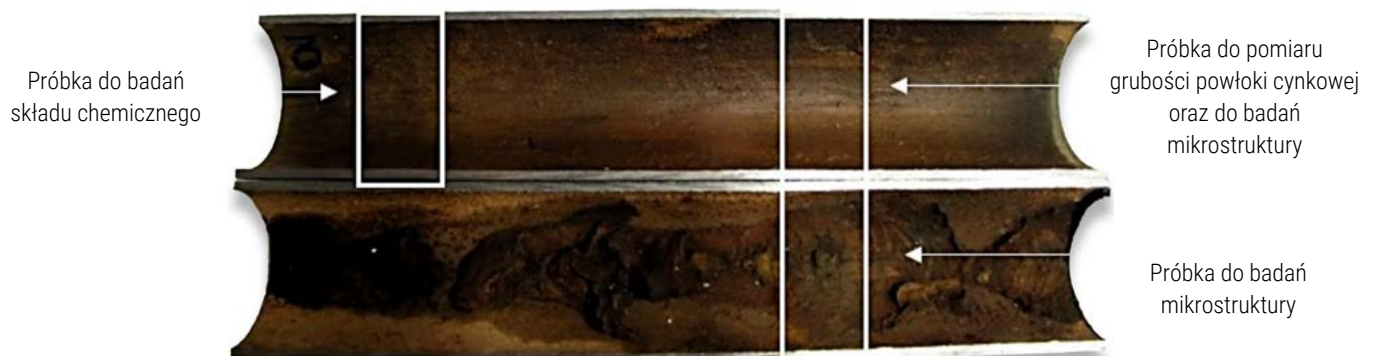
2 – powrót,

3 – woda uzdatniona.

Rys. 1. Elementy rur dostarczone do badań

ZAKRES BADAŃ ORAZ SPOSÓB POBIERANIA PRÓBEK

Pierwszy etap badań polegał na przeprowadzeniu badań wizualnych, do których próbek nie pobierano. W drugim etapie przecięto próbki wzdłużnie celem pokazania osadu znajdującego się wewnątrz rur. W ten sposób rury podzielono na dwie części, przy czym w pierwszej znajdował się osad pojawiający się wzdłuż osi zgrzewu, druga zaś stanowiła część mniej skorodowaną. Z obu odcinków pobrano próbki w kształcie paska o szerokości około 20 mm. Z części mniej skorodowanej wykonano badania oznaczenia składu chemicznego, pomiaru grubości powłoki cynkowej oraz mikrostruktury. Próbka z części z osadem posłużyła jedynie do badań metalograficznych (rys. 2).



Rys. 2. Miejsce pobrania próbek do badań

Próbki do analizy wody zostały pobrane do pojemników z tworzywa sztucznego o pojemności 5 l, natomiast próbki do analizy pH i przewodności elektrycznej właściwej pobrano do pojemników o pojemności 500 ml (rys. 3–4).



Rys. 3. Miejsce poboru próbki wody nr 1



Rys. 4. Miejsce poboru próbki wody nr 2 oraz 3

METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Analiza składu chemicznego

Badanie wykonano oddzielnie dla każdej z czterech rur. Skład chemiczny stali określono przy użyciu spektrometru emisyjnego typu Q8 Magellan.

Wartości średnie analiz składu chemicznego przedstawiono w tabeli 1 wraz ze składem chemicznym stali P235GH, przeznaczonej do pracy w podwyższonej temperaturze. Wyniki analizy wskazują, że skład chemiczny badanej stali spełnia wymagania normy PN-EN 10028-2:1992 dla stali P235GH. Należy również zaznaczyć, że zawartość kluczowego dla jakości powłoki cynkowej pierwiastka, jakim jest krzem, mieści się w określonych granicach.

Jakość uzyskiwanych powłok cynkowych (w tym m.in. połysk, gładkość, grubość, przyczepność) zależy głównie od składu chemicznego, w szczególności od zawartości węgla (C), fosforu (P) i krzemu (Si).

Według danych literaturowych zawartość węgla i krzemu w stali na powłoki cynkowe nie powinna przekraczać łącznie 0,5% [9].

Przy dużej zawartości krzemu reakcja żelazo–cynk w tych stalach przebiega szczególnie silnie, co przyczynia się do wzmocnienia udziału stopu żelazowo-cynkowego w powłoce cynkowej. Dzieje się to przy zawartości omawianego pierwiastka na poziomie od 0,03% do 0,12% (tzw. efekt Sandelina [10]), jak również przy zawartości powyżej 0,3%. W takich przypadkach można zaobserwować matowość, chropowatość, nierównomierność oraz kruchość powłoki cynkowej, co na dalszym etapie powoduje zmniejszenie adhezji grubych powłok do stali oraz pogorszenie właściwości antykorozyjnych [9].

Tabela 1. Wyniki badań składu chemicznego

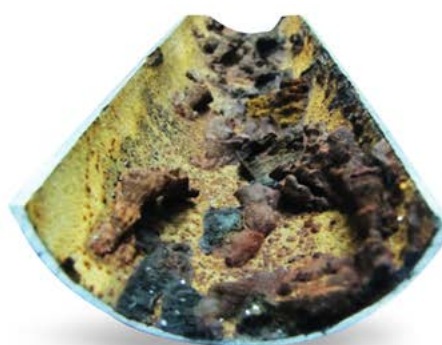
Nr rury	C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	Cu	Nb	V	Cr
1	0,150	0,179	0,407	0,017	0,026	0,015	0,0043	0,019	0,0020	0,0056	0,019
2	0,084	0,0071	0,304	0,0092	0,0093	0,017	0,043	0,034	0,0019	0,0013	0,020
3	0,117	0,025	0,433	0,011	0,011	0,016	0,026	0,036	0,0019	0,0013	0,024
4	0,086	0,0068	0,301	0,0090	0,0093	0,016	0,043	0,033	0,0018	0,0014	0,019
Stal P235GH	max. 0,16	max. 0,35	0,40 ÷ 1,20	max. 0,030	max. 0,025	max. 0,30	min. 0,020	max. 0,30	max. 0,010	max. 0,02	max. 0,30

BADANIA WIZUALNE

Badania wizualne rur (rys. 5–8) przedstawiają znaczną ilość osadów pojawiających się w linii zgrzewu. Zaobserwować można również braki powłoki cynkowej oraz liczne wżery korozyjne o średnicach do 5 mm przechodzące wzdłuż rury.



Rys. 5. Widok strony zewnętrznej oraz wewnętrznej rury nr 1



Rys. 6. Widok strony zewnętrznej oraz wewnętrznej rury nr 2



Rys. 7. Widok strony zewnętrznej oraz wewnętrznej rury nr 3



Rys. 8. Widok strony zewnętrznej oraz wewnętrznej rury nr 4

POMIAR GRUBOŚCI POWŁOK CYNKOWYCH

Pomiar grubości powłok cynkowych przeprowadzono na wycinkach rur w miejscach o najmniejszym stopniu skorodowania od strony zewnętrznej oraz wewnętrznej. Wykonano go przy użyciu mikroskopu świetlnego OLYMPUS GX71 z oprogramowaniem przystosowanym do pomiarów liniowych.

Wyniki pomiarów zostały przedstawione w tabeli 2. Powłoka od strony wewnętrznej charakteryzuje się we wszystkich przypadkach zmniejszoną grubością w stosunku do powłoki zewnętrznej. Zauważono, że powłoka cynkowa wewnętrzna oraz zewnętrzna rury nr 3 cechuje się wartością większą, średnio rzędu 30 μm , w porównaniu do reszty rur.

Tabela 2. Wyniki pomiaru grubości powłok cynkowych

	Wycinek rury nr 1	Wycinek rury nr 2	Wycinek rury nr 3	Wycinek rury nr 4
Wartość średnia powłoki zewnętrznej [µm]	44,14	39,03	77,54	44,86
Wartość średnia powłoki wewnętrznej [µm]	40,26	31,63	76,82	27,92

BADANIA METALOGRAFICZNE

Badania metalograficzne przeprowadzono przy użyciu mikroskopu metalograficznego OLYMPUS GX71 oraz mikroskopu stereoskopowego OLYMPUS SZX16 na zglądzie wzdłużnym oraz poprzecznym względem zgrzewu wycinka rury.

Zaobserwowano prawidłowość mikrostruktury badanej stali, o czym świadczy występowanie niewielkiej ilości ziaren perlitu rozmieszczonego równomiernie w drobnoziarnistej osnowie ferrytycznej (rys. 9 – zgląd w płaszczyźnie prostopadłej do osi rury).

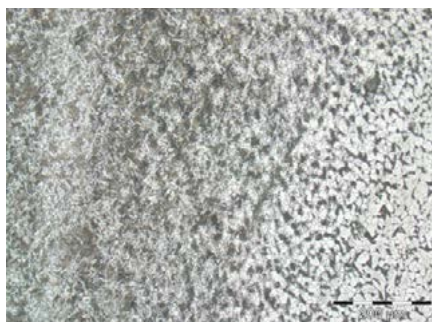


Rys. 9. Widok struktury wycinka rury nr 4 – struktura ferrytyczno-perlityczna z obszarami cementytu III. Powiększenie 500x

Podczas oceny mikroskopowej zgrzewu wyróżnia się strukturę ferrytu o wydłużonych ziarnach oraz martenzyt (rys. 10–11). Zaobserwować można również liczne ślady budowy widmanstattenowskiej wskazującej na przegrzanie materiału. Występowanie różnorodności faz w strukturze, gdzie jedna jest bardziej szlachetna od drugiej, stanowi podstawę do tworzenia się korozyjnego ogniwa galwanicznego w odpowiednim elektrolicie, którym może być woda użytkowa.



Rys. 10. Struktura ferrytu o wydłużonych ziarnach oraz martenzyt. Liczne ślady budowy widmanstattenowskiej. Powiększenie 500x

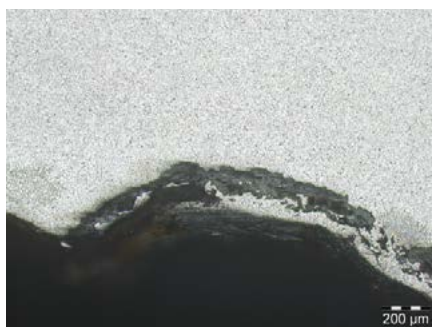


Rys. 11. Materiał rodzimy przechodzący w strefę zgrzewu. Powiększenie 200x

Wyniki obserwacji metalograficznych makroskopowych przedstawione na rysunkach 12–13 wskazują miejsca przerwania warstwy ocynkowanej od strony wewnętrznej badanych rur w wyniku ataku korozyjnego. Są to najczęściej miejsca inicjacji wżeru korozyjnego i późniejszej perforacji rury.

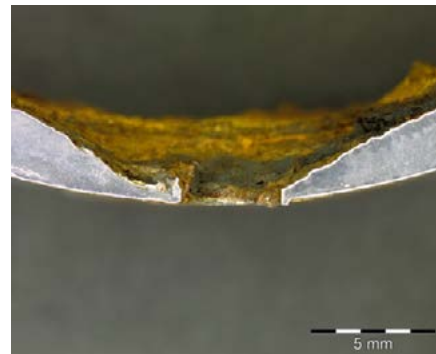


Rys. 12. Widoczne braki w powłoce cynkowej (rura nr 2). Powiększenie 1000x



Rys. 13. Duża strefa wżerów korozyjnych (rura nr 4). Powiększenie 200x

Należy podkreślić, że atak korozyjny występuje najmocniej wzdłuż osi zgrzewu, który jest obszarem o podwyższonej energii oraz miejscem występowania lokalnej anody względem materiału podstawowego. W ten sposób może dojść do powstawania charakterystycznego dla takich przypadków rowka o klinowym kształcie (ang. *wedge shaped groove* [9]), który jest wyraźnie widoczny na przekroju poprzecznym rury w obszarze miejsca przecieku (rys. 14–15).



Rys. 14. Wżer korozyjny wzdłuż linii zgrzewu (rura nr 1). Powiększenie 10x



Rys. 15. Wżer korozyjny wzdłuż zgrzewu (rura nr 3). Powiększenie 10x

ANALIZA BADANEGO OSADU

Podczas analizy chemicznej wytrąconych osadów wyznaczono procentową zawartość: CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, CuO, SiO₂, CO₂, SO₃ metodą wagową, P₂O₅ metodą kalometryczną oraz udział części nierozpuszczalnych w kwasie solnym 1:1, jak również udział części ulegających wyprażeniu w temperaturze 800°C metodą wagową.

Analiza składu chemicznego osadów pobranych z rur przedstawiona w tabeli 3 wykazała, że zawierają one głównie żelazo całkowite Fe₂O₃ oraz krzemiany SiO₂ w łącznej ilości 84,4%. Procentowa ilość części nierozpuszczalnych jest na poziomie 34%. Jak wynika z powyższej analizy, składają się one głównie z produktów korozji rury wodociągowej.

Tabela 3. Analiza osadu pobranego z elementów rur

	Rodzaj oznaczenia	Wartość	Jednostka
a)	określenie straty prażenia w 800°C	11,0	%
b)	określenie procentowej ilości części nierozpuszczalnych w HCl 1:1	33,9	%
c)	określenie procentowej zawartości składników osadu:		
	- wapń jako CaO	<0,2*	-
	- magnez jako MgO	<0,2*	-
	- glin jako Al ₂ O ₃	<0,2*	-
	- żelazo całkowite jako Fe ₂ O ₃	79,9	%
	- miedź całkowita jako CuO	<0,2*	-
	- krzemiany jako SiO ₂	4,5	%
	- węglany jako CO ₂	<0,2*	-
	- siarczany jako SO ₃	2,0	%
	- fosforany jako P ₂ O ₅	2,0	%

* – wartość poniżej granicy oznaczenia ilościowego

ANALIZA WODY

Analiza chemiczna dla trzech próbek wody określa m.in. pH, przewodność elektryczną właściwą, zasadowość złożoną (AP), zasadowość ogólną (AT), stratę prażenia, indeks nadmanganianowy, twardość całkowitą oraz wapniową, zawartość wapnia, magnezu, żelaza całkowitego, manganu, sodu, potasu, siarczanów, krzemianów, fosforanów oraz chlorków.

Z wyników analizy wody (tab. 4) dla próbek nr 1 oraz 2 względem próbki nr 3 wynika, że wartości poszczególnych parametrów oznaczanych w wodzie uzdatnionej są znacząco wyższe (szczególnie zwraca uwagę wysoka zawartość krzemianów) niż w wodzie z kotła oraz powrotu. Stwierdzić można również, że proces uzdatniania wody nie przebiega prawidłowo, gdyż parametry wody uzdatnionej, m.in. twardość ogólna, wapń, przewodność i in., mają bardzo wysokie wartości.

Tabela 4. Wyniki analizy wody

Wyniki analizy	Jednostki	Wyniki dla próbki nr 1 – z kotła	Wyniki dla próbki nr 2 – powrót	Wyniki dla próbki nr 3 – woda uzdatniona
pH	-	8,2	8,2	7,5
Przewodność elektryczna właściwa	μS/cm	492	489	688
Zasadowość złożona (A _p)	mmol/l	0,02	0,03	0,0
Zasadowość ogólna (A _t)	mmol/l	0,58	0,59	0,96
Sucha pozostałość	mg/dm ³	312	298	458
Pozostałość po prażeniu	mg/dm ³	277	250	344
Strata prażenia	mg/dm ³	35	48	114
Indeks nadmanganianowy	mgO ₂ /dm ³	0,73	0,73	0,97
Twardość całkowita	mmol/l mval/dm ³ °n	0,67 1,34 3,76	0,67 1,34 3,76	2,73 5,46 15,32
Twardość wapniowa	mmol/l mval/dm ³ °n	0,54 1,08 3,03	0,54 1,08 3,03	2,69 5,38 15,09
Wapń	mg/dm ³	21,6	21,6	107,82
Magnez	mg/dm ³	3,15	3,15	0,98
Żelazo całkowite ¹⁾	mg/dm ³	<0,01	<0,01	<0,01
Mangan ¹⁾	mg/dm ³	<0,1	<0,1	<0,1
Sód	mg/dm ³	72,3	76,8	23,9
Potas	mg/dm ³	6,21	5,84	6,59
Siarczany	mg/dm ³	35,8	35,0	35,8
Krzemiany	mg/dm ³	0,81	0,81	15,0
Fosforany ¹⁾	mg/dm ³	<0,1	<0,1	0,18
Chlorki	mg/dm ³	34,3	34,1	32,1

¹⁾ – wartość poniżej granicy oznaczenia ilościowego objętego zakresem akredytacji laboratorium

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdza się występowanie korozji wżerowej przyczyniającej się do utraty możliwości użytkowania badanych elementów. Na jej występowanie wpływ mają niżej wymienione czynniki.

TEMPERATURA WODY

Należy podkreślić, iż w temperaturze $>60^{\circ}\text{C}$ następuje zmiana biegowości pary Zn-Fe na niekorzyść żelaza, powłoki cynkowe okazują się zatem nieskuteczne oraz szkodliwe. Odczyt temperatury wody na wyjściu w zakładzie, wg wskazań termometru będącego wyposażeniem instalacji, wynosił 67°C . Norma PN-H-74200:1998 mówi o wykorzystaniu rur stalowych ocynkowanych jedynie do temperatury 60°C . Badania wizualne oraz badania mikrostruktury ukazują występowanie wżerów korozyjnych o wyraźnych granicach. Przyczyną wżerów są istniejące lub wcześniej powstałe w okresie korozji defekty powłoki cynkowej pod osadami. W tym przypadku ogniwo korozyjne powstaje pomiędzy cynkiem i tlenkiem cynku, który łatwo tworzy się w ciepłej wodzie. Poprzez jego półprzewodnikowe właściwości zostaje zwiększona katodowa reakcja redukcji tlenu, co niestety stanowi mniej korzystny układ niż otwarty kontakt żelaza z cynkiem. Zapoczątkowanie korozji wżerowej w ciepłej wodzie mogło również być spowodowane tworzeniem się pęcherzy związanych z wydzielaniem wodoru. Wytworzony wodór jest adsorbowany na powierzchni faz cynk-żelazo i powoduje oddzielanie się powłoki. Wskutek różnego napowietrzenia nowo powstałych ogniw tworzą się lokalne anody w obszarach pękniętych ogniw.

STAN ZGRZEWM

Zaobserwowany nieregularny stan zgrzewu w badanych elementach mógł przyczynić się do powstawania lokalnych anod. Norma PN-EN 12502-3:2006 zaleca, aby kształt wewnętrznego zgrzewu był regularny. Należy jednak zaznaczyć, że obserwacje połączenia zgrzewanego prowadzono na elemencie częściowo skorodowanym.

GRUBOŚĆ POWŁOK

Dostarczone do badań elementy charakteryzowały się zróżnicowaną grubością powłok cynkowych oraz ich brakiem na powierzchni. Zgodnie z normą PN-H 74200:1998 rury o średnicach DN15 i większych, o pogrubionej powłoce cynku powinny charakteryzować się średnią jednostką masy cynku, określoną sumarycznie z wewnętrznej i zewnętrznej powłoki, nie mniejszą niż 610 g/m^2 , co odpowiada około $42\text{ }\mu\text{m}$. Niedoskonałości te mogły wynikać również z istniejących już wcześniej zjawisk korozyjnych.

PARAMETRY WODY I OSADU

- Analiza fizykochemiczna osadu z rur wykazała, że głównym składnikiem osadu są związki żelaza.
- W próbkach wody pobranych z układu zawartość żelaza jest znikoma, co wskazuje, że zanieczyszczenia w rurach nie powstały w ostatnim czasie, gdyż w tym przypadku w próbkach wody z kotła powinna być duża zawartość żelaza.
- Proces uzdatniania wody nie przebiega prawidłowo, gdyż parametry wody uzdatnionej, m.in. twardość ogólna, wapń, przewodność i in., mają bardzo wysokie wartości. Użytkownik nie przedstawił wymagań dla wody uzdatnionej, więc nie można się konkretnie odnieść do poszczególnych wartości. W związku z powyższym zdecydowanie należy zweryfikować pracę stacji uzdatniania wody.

- Dodatkowo fakt, że wartości poszczególnych parametrów oznaczanych w wodzie uzdatnionej są znacząco wyższe (szczególnie zwraca uwagę wysoka zawartość krzemianów) niż w wodzie z kotła oraz powrotu, wskazuje na to, że w kotle następują procesy osadotwórcze. Zbadane parametry wskazują, że obecnie może następować bardzo szybki przyrost kamienia kotłowego. Zalegający w kotle osad powoduje miejscowe przegrzanie materiału, co może przyczynić się do powstawania m.in. mikropęknięć. Dodatkowo pod warstwą osadu może powstawać korozja podosadowa.



Literatura:

1. Fiertak M., Dębska D., *Przyczyny korozji ocynkowanych rur stalowych stosowanych w systemach rozprowadzania i magazynowania wody*, Politechnika Krakowska, „Przegląd Budowlany” 2012/6.
2. PN-EN 12502:2006 Ochrona materiałów metalowych przed korozją. Wytyczne do oceny ryzyka wystąpienia korozji w systemach rozprowadzania i magazynowania wody, 2006.
3. Huyuan S., Shuan L., Lijuan S., *A Comparative Study on the Corrosion of Galvanized Steel under Simulated Rust Layer Solution with and without 3.5wt%NaCl*, Int. J. Electrochem. Sci., 2013/8, s. 3494–3509.
4. White R., Pressly J., O'Donnell A., *A guide to the performance of hot dip galvanized piping in water*, <http://www.izasa.org/> [20.01.2016].
5. Noble C., *Corrosion of Galvanized Piping in Domestic Water Systems*, „The Conduit”, vol. 12, no. 1.
6. <http://www.a-test-serwis.pl/strony/14/ocynk-zabroniony/> [20.01.2017].
7. PN-H 74200:1998, Rury stalowe ze szwem, gwintowane.
8. Zalecenia dla projektantów instalacji zimnej i ciepłej wody wodociągowej oraz wodnych instalacji ogrzewczych w zakresie wyboru i łączenia materiałów, uwzględniające agresywność korozyjną wód wodociagowych w 52 miastach w Polsce, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Techniki Instalacyjnej Instal, Warszawa, 2001.
9. Pawłowski B., Krwaczyk J., Bała P., *Korozja ocynkowanych rur stalowych w wewnętrznych instalacjach wodociagowych*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Conference Paper, September 2013, XLI Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków-Krynica 24–27.09.2013.
10. Sandelin R.W., *Galvanizing characteristics of different types of steel*, „Wire and Wire Production”, vol. 15, no. 11, 1940, s. 655–676.