

Osady i korozja w kotłach parowych. Wymagania co do jakości wody zasilającej i kotłowej.

Limescale and corrosion in steam boilers. Requirements for feed and boiler water quality

JAN MARJANOWSKI

DOI 10.36119/15.2020.9.3

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie problemów związanych z eksploatacją kotłów parowych o ciśnieniu roboczym do 20 barów. Omówiono przyczyny wytrącania się osadów kamienia kotłowego i korozji. Szczególną uwagę zwrócono na wymagania dotyczące jakości wody zasilającej kotły parowe, jak też na problem odsalania oraz oszczędności wody i ciepła.

Słowa kluczowe: woda, jakość, woda zasilająca, woda kotłowa, osad, kamień kotłowy, korozja, kocioł parowy.

The aim of this paper is to present problems connected with exploitation of steam boilers with pressure up to 20 bars. Reasons of boiler scaling and corrosion are described. Particular emphasis is put on the quality of steam boiler feed water, on desalting problems, water and heat savings.

Keywords: water, quality, feed water, boiler water, deposits, limescale, corrosion, steam boiler.

Wprowadzenie

Kotły parowe produkujące parę nasyconą o ciśnieniu roboczym do 20 barów do różnych celów: technologicznych i grzewczych stanowią bardzo dużą grupę kotłów zainstalowanych w przemyśle spożywczym, produkcji elementów budowlanych i w szerokiej grupie zakładów wyrobów technicznych. Jakość wody zasilającej kotły i związane z tym problemy osadowo – korozyjne, jak zwrot kondensatu na ilościowo i jakościowo wysokim poziomie, niskie odsalanie, oszczędność wody i ciepła, są to wszystko problemy z jakimi borykają się liczne zakłady, które zainstalowały te kotły.

Instalując nowoczesne kotły charakteryzujące się wysokim obciążeniem cieplnym i małą objętością odparownika w stosunku do wydajności, należy sobie zdać sprawę z faktu, że woda zasilająca powinna być odpowiednio jakościowo przygotowana. Obecne trendy technologiczne w uzdatnianiu wody kładą nacisk na jej pełną demineralizację. Bynajmniej nie jest to swego rodzaju moda, lecz technologicznie i ekonomicznie uzasadniony wybór podczas projektowania nowoczesnej kotłowni. Ważnym etapem przy podejmowaniu decyzji o wyborze typu technologii przygotowania wody zasilającej jest porównanie kosztów inwestycyjnych poniesionych na budowę SUW

z kosztami na bieżącą eksploatację. Koszty inwestycyjne zamykające się w kwocie ofertowej na realizację przedsięwzięcia „pod klucz” są zwykle jasne i czytelne. Natomiast określenie kosztów ponoszonych podczas eksploatacji kotła wymaga swoistego know-how, zbudowanego w oparciu o znajomość wielu gałęzi wiedzy. Niniejszy artykuł ma przybliżyć przyszłym inwestorom jedną z gałęzi tej wiedzy, związaną z wyborem właściwej technologii uzdatniania wody na etapie zakupu kotłów, zakupu stacji uzdatniania wody, modernizacji kotłowni. Z kolei eksploatatorom kotłów uświadomienie problemów związanych z niewłaściwym uzdatnianiem wody zasilającej kotły i koniecznymi zmianami jakie trzeba wykonać dla wyeliminowania tych problemów.

Ważne jest zdefiniowanie pewnych nazw wody w niniejszym artykule dla porządku rozumienia i posługiwania się nimi w dalszej części artykułu.

Kondensat – stanowi skropliny wytworzone z pary w wyniku jej przemiany w procesie wymiany ciepła. Kondensat o odpowiedniej jakości łącznie z wodą dodatkową stanowi wodę zasilającą kotły parowe.

Woda kotłowa – w przypadku kotłów wodnych jest równocześnie **wodą obiegową**, natomiast w kotłach parowych w wyniku odparowania następuje systematyczne zateżenie wody kotłowej

i tym samym zmiana jej składu chemicznego w porównaniu z wodą zasilającą.

Woda dodatkowa – inaczej uzupełniająca, która służy do pokrywania strat wody w obiegu wodno-parowym.

Razem z kondensatem stanowi wodę zasilającą kocioł. Woda dodatkowa musi być wodą uzdatnioną a przynajmniej wodą pozbawioną twardości (zmiękczoną).

Problemy związane z osadami i korozją w kotłach parowych

Osady kamienia kotłowego w kotłach parowych

Na wewnętrznych powierzchniach kotłów w czasie ich pracy, a także i po prostu mogą tworzyć się osady o różnym składzie chemicznym i strukturze, zwane potocznie kamieniem kotłowym. Są one związane z następującymi procesami:

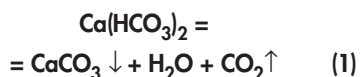
- zmianą składu wody w wyniku ogrzewania i zateżania oraz wydzieleniem się stałych osadów z wody,
- nanoszeniem na powierzchnie kotła różnych zawartych w wodzie zawiesin i stopniową budową twardej warstewki kamienia kotłowego,
- korozją metalowych elementów kotła i powstawaniem osadów z produktów korozji.

Powstawanie osadów zależy od bardzo wielu czynników w tym:

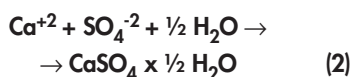
Mgr inż. Jan Marjanowski – MARCOR. Adres do korespondencji/ Corresponding author: jm@marcor.com.pl

- od jakości wody zasilającej,
- od jakości wody kotłowej i intensywności odsalania,
- obciążenia cieplnego powierzchni i jej temperatury,
- rozwiązań konstrukcyjnych kotła,
- sposobu eksploatacji.

Wskutek przekroczenia iloczynu rozpuszczalności wypadają w formie stałej sole związków wapnia, magnezu, żelaza i krzemu jeśli woda jest niewłaściwie uzdatniana. Podczas ogrzewania wody następuje rozkład wodorowęglanu wapnia $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ w myśl reakcji:



Powstający węglan wapnia CaCO_3 może wytrącać się w postaci krystalicznego kalcytu jako klasyczny kamień kotłowy lub w formie bezpostaciowego aragonitu jako muł. Natomiast dwutlenek węgla ulatnia się do części parowej kotła i skraplając się w rurociągach kondensatu zakwasza go jako kwas węglowy, powodując korozję rur i zbiornika kondensatu, a co za tymi idzie korozyjne niszczenie tych elementów kotła. Powstające osady żelaziste produktów korozji mogą powracać do kotła wraz z kondensatem. Jeśli wydostaną się wraz z wodą zasilającą ze zbiornika kondensatu mogą się wytrącać, zmniejszać przekroje rur, zanieczyszczać odgazowywacz i podgrzewacz w kotle, a potem osadzać się w kotle właściwym. W kotle mogą wypaść też osady siarczanu wapnia uwodnionego ostatecznie do postaci półwodnego gipsu $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, jeśli w wodzie zasilającej, po stacji uzdatniania wody będą obecne siarczany i jednocześnie woda będzie wykazywała się twardością wyższą niż 0,2 °n (np. po zmiękczaczu).



W kotle parowym w zależności od warunków mogą się także wytrącać inne związki chemiczne, związane z jakością wody kotłowej, jak krzemiany i fosforany. Charakterystyczne osady dla kotłów parowych znajdują swoje odpowiedniki w przyrodzie jako minerały. Zostały w tej formie wymienione w tabeli 1 [1].

Częściowo osady tworzą się w formie mułu a częściowo w formie zwałowego twardego osadu zwanego kamieniem kotłowym, oblepiającego powierzchnie ogrzewalne i inne elementy kotła. Muły mogą być usuwane w procesie odmulaniania kotła, natomiast twarde osady kamienia kotłowego wyłączone w procesie chemicznego czyszczenia kotła.

Tab. 1 Popularne osady powstające w kotłach parowych

Wzór chemiczny	Nazwa minerału
CaCO_3	Kalcyt lub aragonit
Ca SO_4 lub $\text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	siarczan wapnia lub gips półwodny
$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \times \text{Ca}(\text{OH})_2$	hydroksyapatyt
$3 \text{MgO} \times 2 \text{SiO}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$	serpentyt
$\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$	wiwianit
Fe_2O_3	hematyt
$\text{FeO}(\text{OH})$	getyt
Mg_2SiO_4	forsteryt
$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	oliwin

czenia kotła. Najbardziej twarde osady tworzą krzemiany (poza krzemianem magnezu), siarczany, a także tlenki żelaza oraz węglan wapnia, jeśli krystalizuje w formie kalcytu. Do mułu przechodzą wodorotlenki żelaza, węglan wapnia jako aragonit, wodorotlenek i krzemian magnezu, fosforany wapnia i magnezu. Może być ona źródłem wżerowej korozji galwanicznej kotła. Wytrącanie się osadów w kotle świadczy jednoznacznie o złym procesie uzdatniania wody na potrzeby kotłowe. Osady mogą powstawać przy poprawnie pracującej stacji uzdatniania wody uzupeł-



Fot. 1 Zanieczyszczone kamieniem kotłowym płomieniówki i płomienica kotła parowego



Fot. 2 Zanieczyszczenia warstwą twardego kalcytu komory nawrotnej kotła parowego

nijącej kondensat, wówczas gdy rozszczelni się wymiennik ciepłej wody lub wymiennik CIP (ang. Clean In Place), co powoduje przedostawanie się twardej wody do kondensatu.

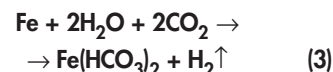
Osady w kotle zostały pokazane na fotografiach nr 1 i 2.

Korozja w kotle parowym

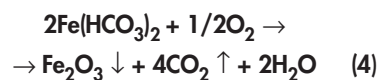
Powodów korozji elementów wewnętrznych kotła może być wiele, bezpośredni wpływ na korozję mają:

- skład wody uzupełniającej kondensat i przyjęta technologia uzdatniania wody,
- wysokie zasolenie wody kotłowej, szczególnie obecność chlorków w wodzie kotłowej,
- nieprzestrzeganie warunków odsalania kotła wg wytycznych producenta kotła czy też norm krajowych, unijnych, wymagań branżowych, czy też korporacyjnych.

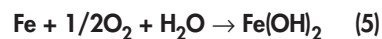
W kotle może mieć miejsce reakcja korozji ogólnej stalowej powierzchni kotła np. narażonych szczególnie na korozję płomieniówek przy niedostatecznie zalkalizowanej wodzie, szczególnie wtedy, gdy zasadowość alkaliczna $p = 0$, tzn. pH wody jest niższe od wartości 8,3:



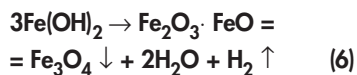
Jeśli w wodzie zasilającej obecny jest rozpuszczony tlen wskutek niedostatecznego odgazowania wody zasilającej w odgazowywaczu, reakcja będzie dalej z odtwarzaniem się dwutlenku węgla co zwiększa dalej korozję i najczęściej wskutek tej reakcji powstają miejscowe ubytki w formie wżerów:



Równolegle w przypadku tlenu rozpuszczonego w wodzie kotłowej będzie reakcja korozji z depolaryzacją tlenową. Ten rodzaj korozji występuje często w podgrzewaczach kotłów parowych typu OR oraz w kotłach płomieniowo-płomieniówkowych, gdzie korozji ulegają płomieniówki. Tlen jest depolaryzatorem katodowym w reakcji elektrochemicznej utleniania żelaza, jak niżej w reakcji:



Wytrącony wodorotlenek żelazawy $\text{Fe}(\text{OH})_2$ może ulegać dalszym przemianom w tym do magnetytu Fe_3O_4 o ile zaistnieją ku temu warunki, jak w reakcji:



Im większe stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie, tym intensywniej zachodzą procesy korozyjne. Tlen rozpuszczony przechodzi również do pary i pojawia się następnie w kondensacie, co przyspiesza niszczenie rur kondensatu.

Korozję potęgują zawarte w wodzie chlorki i siarczany zmieniając jej charakter z korozji ogólnej na korozję wżerową. Jeśli w wodzie pozostaje tlen, w wyniku reakcji 5 powstaje na powierzchni magnetyt, ale wskutek wysokiego stężenia chlorków (słabe odsalanie) dochodzi do niszczenia miejscowego warstewki magnetytu i tworzenia się wżeru z rozpuszczalnymi produktami korozji. Wżer rozwija się autokatalitycznie i szybko drąży w głąb materiał kotła np. rury. Ma do tego dobre warunki, ponieważ z małej powierzchni wżeru, który jest anodą w ogniwie, elektrony są przesyłane na dużą powierzchnię rury z tlenkami magnetytu, która posiada dodatni potencjał w stosunku do wżeru i stanowi katodę ogniwa. Duża nieuszkodzona powierzchnia kotła może odebrać elektrony z wielu małych wżerów.

Reakcje biegą następująco:



Reakcja sumaryczna 5 oraz 7 i 8 są tożsame, natomiast sam proces może biec według mechanizmu korozji ogólnej jak też wżerowej wtedy, gdy będą obecne wyższe stężenia chlorków przy niskim odsalaniu wody kotłowej. Korozję zachodzącą w kotle zilustrowano na fot. 3, gdzie została pokazana wżerowo uszkodzona płomieniówka z prawdopodobną przyczyną było zidentyfikowane niskie odsalanie kotła oraz brak odgazowania wody wskutek niskiej temperatury w odgazowywaczu.

Wymagania w zakresie jakości wody zasilającej kotły parowe i wody kotłowej

Normy i wymagania wybranych producentów kotłów

Woda zasilająca kocioł parowy z przyczyn formalno-prawnych musi odpowiadać normom i przepisom krajowym, a w trakcie eksploatacji nowego kotła dla zachowania gwarancji, także wymaganiom producenta. Zła jakość wody zasilającej skutkuje koniecznością przeprowadzania kosztownych chemicz-

Rys. 3. Uszkodzona płomieniówka kotła 3a, oraz zbliżenia uszkodzeń 3b i 3c



nych czyszczeń kotłów lub awarii, które mogą się zakończyć rozerwaniem elementu kotła np. płomieniówki lub w skrajnym wypadku awarii i wybuchu kotła.

Celowe jest doprowadzenie jak największej ilości kondensatu do kotła produkującego parę wodną i jak najmniejsze uzupełnianie kondensatu wodą dodatkową wytwarzaną przez stację uzdatniania wody (SUW). Zwracany do zbiornika kondensatu kondensat musi być dobrej jakości. Jeśli nie spełnia jakości wody zasilającej musi być ponownie uzdatniony, najczęściej chemicznie i termicznie (odgazowanie) lub też wyeliminowany. Z wieloletniego doświadczenia autora wynika, że w tego typu kotłach zwrot kondensatu wynosi ok. 60 – 80%. Wynika to w części z użycia pary bezpośrednio w procesach produkcyjnych np. w procesach produkcji bloczków budowlanych, złą pracą garnków kondensacyjnych lub ich braku, braku przewodów kondensacyjnych z odległych od kotłowni instalacji parowych. Ta strata kondensatu musi być uzupełniana wodą dodatkową (uzupełniającą), wyprodukowaną przez SUW, ale również kondycjonowaną chemicznie i odgazowaną (odtlenioną).

Nadrzędnym zaleceniem do wytycznych w zakresie jakości wody zasilającej oraz kotłowej dla producentów kotłów jest norma **PN-EN 12953-10:2003** pt. „Kotły płomieniowo-płomieniówkowe” Część 10: „Wymagania dotyczące jakości wody zasilającej i wody kotłowej”. Norma z dnia 15.05.2004 r. została uznana za Polską Normę [2]. Przytoczona norma jest częścią normy europejskiej **EN 12953-10** stosowanej dla kotłów ogrzewanych spali-

nami w wyniku spalania jednego lub wielu paliw, lub gorącymi gazami w celu wytwarzania pary i/lub gorącej wody. Norma przedstawia **minimalne wymagania** dla wody zasilającej kotły płomieniowo-płomieniówkowe oraz dla wody kotłowej, tak aby zapobiec:

- ryzyku korozji,
 - wytrącaniu osadów,
 - tworzeniu kamienia kotłowego,
- które mogą być przyczyną uszkodzeń mechanicznych lub problemów eksploatacyjnych.

W tabeli 2 przedstawiono normatywne wymagania odnośnie do jakości wody zasilającej, a w tabeli 3 wymagania odnośnie do jakości wody kotłowej.

Norma, co ważne przewiduje użycie wody zdemineralizowanej do kotła z instalacji SUW, jak też mieszaniny kondensatu i wody dodatkowej z SUW o przewodnictwie poniżej i powyżej 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. W przypadku przewodności wody zasilającej poniżej 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ narzuca inne wymagania jakościowe dla wody o niskim przewodnictwie i dla wody o wyższym przewodnictwie niż 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Producenci kotłów parowych określają często swoje wymagania, które jednak nie mogą być sprzeczne z normą unijną i krajową PN EN 12953-10: 2003. Z reguły te przepisy są bardziej rygorystyczne od powyższej normy i mają chronić producenta kotła przed ewentualnymi problemami związanymi z eksploatacją kotłów w okresie gwarancji. W gospodarce krajowej ilościowo najwięcej pracuje gazowych kotłów produkcji firmy Viessmann oraz starszych węglowych kotłów produkcji

Tabela 2. Woda zasilająca kotły parowe i wodne wg normy PN EN 12953-10 : 2003

Parametr	Jednostka	Woda zasilająca kotły parowe	
Ciśnienie robocze	bar	>0,5-20	>20
Wymagania ogólne	-	czysta, wolna od zawiesiny	
Przewodność wł. 25°C [λ]	μS/cm	parametr zależny od dopuszczalnego składu wody kotłowej Tab. 3.	
pH w temp. 25°C ^a	-	>9,2 ^b	>9,2 ^b
Twardość ogólna	mmol/l	<0,01 ^c	<0,01
Żelazo ogólne	mgFe/l	<0,3	<0,1
Miedź	mgCu/l	<0,05	<0,03
Krzemionka	mgSiO ₂ /l	zależna od wytycznych Tab.3	
Tlen	mgO ₂ /l	<0,05 ^d	<0,02
oleje/ tłuszcze	mg/l	<1	<1
Materia organiczna jako Całkowity Węgiel Organiczny	-	uwaga ^e	

Oznaczenia:

- a – jeżeli w systemie wodnym zastosowano stopy miedzi to spełnić należy warunek 8,7<pH<9,2,
- b – jeżeli woda zmiękczona posiada pH> 7,0 to pH wody kotłowej zależy od wartości z Tabeli 3,
- c – dla ciśnienia roboczego <1 bar dopuszczalna max. twardość og. 0,05 mmol/l,
- d – parametr nie wymagający monitorowania w przypadku okresowej pracy, lub braku odgazowywacza jeżeli stosuje się inhibitory korozji i/lub związki chemiczne wiążące tlen,
- e – związki organiczne zwykle są mieszaniną kilku związków. Oddziaływanie konkretnej mieszaniny w danych warunkach jest trudno przewidywalne. Związki organiczne w wyniku termicznego rozkładu tworzą kwas węglowy i inne, które podnoszą kwasowe przewodnictwo, wzmagają procesy korozyjne lub osadotwórcze. Prowadzą do pienia się wody kotłowej.

Tabela 3. Woda kotłowa – kotły parowe płomienicowo – płomieniówkowe wg PN EN 12953-10: 2003

Parametr	Jednostka	Woda kotłowa – kotły parowe zasilane		
		wodą o λ>30 μS/cm	wodą o λ<30 μS/cm	
Ciśnienie robocze	bar	>0,5-20	>20 – 40	>0,5
Wymagania ogólne	-	czysta, pozbawiona stałej piany		
Przewodność wł. 25°C [λ]	μS/cm	<6000 ^a	3000-6000	<1500
pH w temp. 25°C	-	10,5-12,0	10,5-11,8	10,0-11,0 ^{b,c}
Zasadowość m	mmol/l	1-15 ^a	1-10 ^a	0,1-1,0 ^c
Krzemionka	mg SiO ₂ /l	zależy od ciśnienia, zasadowości m		
Fosforany ^d	mgPO ₄ /l	10-30	10-30	6-15
Materia organiczna jako Całkowity Węgiel Organiczny	-	uwaga ^e		

Oznaczenia:

- a – w przypadku wyposażenia kotła w przegrzewacz parowy graniczna wartość przewodnictwa wynosi 50% podanej wartości λ,
- b – podstawowa korekcja pH stosując tylko Na₃PO₄, dodatkowa korekcja z zastosowaniem NaOH tylko w przypadku kiedy pH<10,
- c – jeżeli przewodnictwo kwasowe wody zasilającej<0,2 μS/cm i zawartość Na+K<0,010 mmol/l, korekcja z zastosowaniem Na₃PO₄ nie jest konieczna.
- d – stosując inne związki fosforu (meta-fosforany itp.), dopuszczalne są wyższe stężenia,
- e – patrz oznaczenie e do Tabeli 2.

Tabela 4. Woda zasilająca kotły parowe wg wymagań producenta kotłów Viessmann o ciśnieniu roboczym poniżej 20 barów

Parametr	Jedn.	Wartość
Wymogi ogólne	-	Woda bezbarwna, klarowna i wolna od substancji nierozpuszczonych
Wartość pH w temp. 25°C	-	> 9
Konduktancja w temp. 25°C	μS/cm	Taka, aby spełnić wytyczne dla wody kotłowej
Suma soli metali alkalicznych (Ca ²⁺ + Mg ²⁺) ^{*1)}	mmol/litr	< 0,01
Tlen (O ₂)	mg/litr	0,05
Zawartość związanego dwutlenku węgla (CO ₂)	mg/litr	< 25
Żelazo, całkowite (Fe)	mg/litr	< 0,2
Miedź, całkowita (Cu)	mg/litr	< 0,05
Utlenialność jako KMnO ₄	mg/litr	< 10
Olej, smar	mg/litr	< 1
Substancje organiczne	—	Utrzymywać na jak najniżej

*1) – odpowiednik twardości w stopniach niemieckich – 0,05 °n (przyp. autora)

Tabela 5. Wymagania jakości wody kotłowej wg Viessmanna, ciśnienie robocze kotła do 20 barów

Parametr	Jedn.	Wartość	
		Kotły zasilane wodą o przewodnictwie λ>30 μS/cm	λ < 30 μS/cm
Wymogi ogólne	-	Woda bezbarwna, klarowna i wolna od substancji nierozpuszczonych	
Wartość pH w temp. 25°C	-	10,5 do 12	10 do 11 ^{2,3}
Konduktancja w temp. 25°C	μS/cm	< 6000 ⁴	< 1500
Zasadowość m	mmol/litr	1 do 12 ⁴	0,1 do 1 ⁴
Fosforany	mg/litr	10 do 20	6 do 16
Krzemionka SiO ₂ ⁵	mg/litr	W zależności od ciśnienia i zasadowości	

- ²⁾ – W przypadku stosowania wody demineralizowanej o jakości uzyskiwanej przy stosowaniu złoża mieszanego (konduktancja < 0,2 μS/cm) dodawanie fosforanu nie jest konieczne; alternatywnie możliwe jest zastosowanie technologii AVT (technologia regulacji składu chemicznego wody przez dodawanie lotnych związków alkalicznych, wartość pH wody zasilającej pH > 9,2 i wartość pH wody w kotle pH > 8,0). W tym przypadku konduktancja po przejściu przez mocno kwaśną kolumnę kationitową musi wynosić < 5 μS/cm.
- ³⁾ – Uzyskanie podstawowej wartości pH po dodaniu Na₃PO₄, dodatkowo dodanie NaOH, jeżeli wartość pH wynosi < 10.
- ⁴⁾ – W przypadku przegrzewacza jako wartość maksymalną należy przyjąć 50% podanej górnej wartości.
- ⁵⁾ – W przypadku zastosowania fosforanu, przy uwzględnieniu wszystkich innych wartości, dopuszczalne są wyższe stężenia PO₄, np. przy zrównoważonym lub skoordynowanym stosowaniu fosforanu. Dla kotłów o ciśnieniu roboczym powyżej 20 barów i zasadowości m 5 mmol/litr stężenie krzemionki nie powinno przekraczać 105 mgSiO₂/litr i odpowiednio dla zasadowości równej 10 stężenie krzemionki nie powinno przekraczać 135 mgSiO₂/litr.

Tabela 5. Wymagania jakości wody zasilającej i kotłowej wg SEFAKO (kocioł o ciśnieniu roboczym poniżej 20 barów po modernizacji)

Oznaczenie	Jednostka	Woda zasilająca	Woda kotłowa
Twardość ogólna	°n	< 0,1	
Odczyn pH wody w 20°C	pH	7÷9,5	> 8,5
CO ₂ wolny	mg/l	0	
CO ₂ związany	mg/l	< 25	
Zawartość O ₂	mg/l	< 0,1	
Utlenialność KMnO ₄	mg/l	< 20	< 200
Zawartość P ₂ O ₅	mg/l	1÷2	5÷25
Zawartość oleju	mg/l	< 3	
Alkaliczność „p”	mval/l	-	5÷25
Przewodnictwo właściwe w temperaturze 20°C	μS/cm	-	6000 Zalecane < 4000
Zawartość oleju	mg/l	< 1	< 2
Zawartość krzemionki	mg/l	-	70+7 „p”

firmy SEFAKO w Sosnowcu typu OR (ruro-we opromieniowane), przeważnie po licznych modernizacjach. Autorzy zamieścili w tabelach 4, 5, 6 wymagania firmy Viessmann [3] i firmy SEFAKO w zakresie wody zasilającej jak i wody kotłowej.

LITERATURA :

- [1] D. Chomicz, Uzdatnianie wody w kotłowniach i ciepłowniach, Wyd. Arkady 1989r,
- [2] Norma PN-EN 12953-2006, Kotły płomienicowo-płomieniówkowe – Część 10: Wymagania dotyczące jakości wody zasilającej i wody kotłowej,
- [3] Wytyczne projektowe firmy Viessmann, Jakość wody w parowych instalacjach kotłowych, Wysokoprężny i niskoprężny kocioł, Wydanie 4/2011.