



Doświadczenia z projektowania i wdrażania stacji uzdatniania wody kotłowej dla ENERGO-TECH sp. z o.o.

*Iwona Skoczko
Politechnika Białostocka*

1. Wstęp

Woda kotłowa zasilająca kotły oraz woda dodatkowa muszą odpowiadać wymaganiom, które określają producenci kotłów. Wymagania te zależą od konstrukcji kotła i rosną wraz z ciśnieniem. Generalnie, woda doprowadzana do kotłów musi być tak uzdatniona, aby nie powodowała wytrącania się kamienia kotłowego, korozji urządzeń kotłowych oraz nie pieniała się. Wytrącający się kamień kotłowy zmniejsza przewodnictwo cieplne, a zatem obniża sprawność kotła i może być przyczyną jego awarii, zwiększa opory przepływu wody, a tym samym zużycie wody i energii. Powodem powstawania kamienia kotłowego jest głównie obecność: węglanów, siarczanów, krzemianów wapnia i magnezu, zawiesin i olejów w wodzie. Pienienie wody kotłowej powodują związki organiczne, duże zasolenie wody oraz nadmierna jej alkaliczność.

Jakość wody obieguj (kotłowej), dodatkowej (uzupełniającej) i zasilającej obiegi wodne kotłów wodnorurowych i płomiennorurowych

określa norma: PN-85/C-04601: „Woda do celów energetycznych”. Wymagania jakości tych wód zależne od ilości wody przedstawiono w tabeli 1. Zgodnie z tymi wymogami wody – obiegowa, zasilająca i dodatkowa powinny być prawie całkowicie pozbawione oleju, zawiesin, tlenu rozpuszczonego, żelaza, jonów wapnia i magnezu (twardości ogólnej), zanieczyszczeń organicznych oraz muszą się charakteryzować małą twardością węglanową, alkalicznym odczynem oraz zawartością środków korygujących, takich jak fosforany i siarczyny. W wymaganiach pominięto zawartość substancji rozpuszczonych, głównie chlorków, siarczanów i azotanów. Mając na uwadze fakt, iż jony te intensyfikują korozję, należy zapewnić możliwie minimalne ich stężenia w wodzie wykorzystywanej do celów kotłowych. W wypadku kotłów parowych wymagana jakość wody uzupełniającej i kotłowej zależy od konstrukcji kotła, obciążenia powierzchni ogrzewalnej, warunków eksploatacji i parametrów pracy kotła.

Dla kotłów parowych pracujących w zakresie ciśnienia nominalnego 0,9÷4,0 MPa istnieją normy obowiązujące w Polsce. Wymagania dotyczące jakości wody zasilającej i kotłowej podano odpowiednio w tabelach 2.

Jakość wody kotłowej i zasilającej kotły parowe decyduje o czystości pary wytwarzanej w kotle. Szczególnie duże znaczenie ma czystość pary zasilającej turbiny. Zanieczyszczenie pary powoduje nadmierną zawartość substancji rozpuszczonych i soli wytrąconych w wodzie kotłowej, które unoszone ze strumieniem pary przedostają się do układu łopatkowego turbiny. Osadzając się na łopatkach mogą powodować zakłócenia w pracy turbiny, a niekiedy są przyczyną poważnych awarii.

2. Projektowanie stacji uzdatniania wody kotłowej, metodyka badań

Przedmiotem niniejszej pracy jest podsumowanie rozważań dotyczących doboru optymalnego systemu uzdatniania wody kotłowej dla firmy ENERGO-TECH sp. z o.o., która jest dostawcą ciepła w postaci pary oraz zarządcą stacji uzdatniania wody dla dużej firmy włókienniczej ANDROPOL S.A.

W ramach stażu naukowego finansowanego z unijnego projektu Kapitał Ludzki „Wzmocnienie potencjału kadr nauki i biznesu poprzez

transfer wiedzy w regionie” w Katedrze Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej podjęto prace nad projektem stacji uzdatniania wody kotłowej dla ENERGO-TECH sp. z o.o., która pozwoliłaby na odpowiednie oczyszczenie wody, a następnie wdrożeniem go w praktyce.

Prace przygotowawcze stanowiły szereg analiz wody surowej oraz wody po wstępnym napowietrzeniu. Analizowanymi parametrami były wskaźniki powszechnie stosowane w analizie wody. Przedstawiono je w tabeli 1. Otrzymane wyniki stanowiły średnią z trzech niezależnych pomiarów wykonanych z dostarczonej wody do badań

Tabela 1. Wskaźniki zanieczyszczeń wody surowej dopływającej do kotła oraz wymagania dla wody kotłowej i uzupełniającej

Table 1. Indicators of pollution of raw water flowing into the boiler and the requirements for boiler and supplementary water

Oznaczany parametr wody – jednostka	Woda surowa	Woda po odżelaziaczu	Wymagania dla wody obiegowej	Wymagania wody uzupełniającej	Metodyka pomiaru
Barwa [mg Pt/dm ³]	117	104	< 5	< 5	Spektrofotometrycznie
Mętność [mg SiO ₂ /dm ³]	43	18	< 5	< 5	Spektrofotometrycznie
pH	7,725	8,25	9÷10	>8,5	pH-metrycznie
Utlenialność [mg O ₂ / dm ³]	6,9	6,6	0	0	Metodą miareczkową na gorąco
Zasadowość [mval/ dm ³] Zp/Zm	0,0/5,1	0,0/6,0	< 1,4	< 1,0	Metodą miareczkową
Zawiesiny gólne [g/dm ³]	0,44	0,28	< 1	< 1	Metodą miareczkową
Zasolenie całk. [g/dm ³]	9,81	5,32	< 6	< 6	Metodą normową
Żelazo ogólne [mg/dm ³]	1,200	0,825	< 0,1	< 0,05	Metodą normową po odparowaniu

Tabela 1. cd.
Table 1. cont.

Oznaczany parametr wody – jednostka	Woda surowa	Woda po odżelaziaczu	Wymagania dla wody obiegowej	Wymagania wody uzupełniającej	Metodyka pomiaru
Mangan ogólny [mg/dm ³]	0,205	0,156	< 0,05	< 0,05	Metodą płomieniowej AAS
Twardość ogólna [mval/dm ³]	9,33	6,75	<0,02	<0,02	Metodą płomieniowej AAS
Azot amonowy [mg/dm ³]	0,11	0,33	<0,1	<0,1	Metodą spektrofotometryczną
Chlorki [mg/dm ³]	15	15	–	–	Spektrofotometrycznie bez destylacji
Fosforany [mg/dm ³]	0,45	0,45	<5	<5	Metodą miareczkową
Krzemiany [mg/dm ³]	0,0	0,0	<4	<4	Metodą miareczkową
Siarczany [mg/dm ³]	164	164	–	–	Metodą miareczkową
Azotany [mg/dm ³]	0,04	0,04	<0,02	<0,02	Metodą spektrofotometryczną

Źródło: opracowanie własne (kolumna 1÷3), parametry wody na podstawie [1÷3]

Woda przemysłowa i jednocześnie woda kotłowa pobierana jest ze źródła infiltracyjnego. Poziom zanieczyszczenia wody surowej przedstawiono w tabeli 1.

Dotychczas funkcjonująca w zakładzie stacja uzdatniania wyposażona była w otwartą komorę napowietrzającą, na dnie której umieszczone były perforowane rury z nawierconymi otworami włączające do wody powietrze. Rury połączone były ze sprężarką o parametrach: spręż: 0,5÷0,7 bar, objętość powietrza na ssaniu: 28÷30 m³/min., moc: 30 kW, obroty: 900 obr/min. Woda napowietrzona kierowana była na szereg trzech piaskowych filtrów pospiesznych ciśnieniowych, służących do klarowania wody. Zastosowana technologia pozwalała jedynie na obniżenie poziomu mętności w wodzie, ilości zawiesin, częściowo żelaza

i manganu. Tak przygotowana woda stanowiła zasilenie wody przemysłowej w ANDROPOL S.A. i kierowana była na szereg maszyn i urządzeń stanowiących wyposażenie zakładu.

W 2010 roku firma ENERGO-TECH sp. z o.o. zarządzająca stacją uzdatniania i kotłownią na obie firmy zakupiła gazowe kotły wysokociśnieniowe wytwarzające parę BWT, a tym samym zrezygnowała ze starych kotłów węglowych OSR. Wiązało się to odpowiednim przygotowaniem wody zasilającej kotły.

Tabela 2. Wymagania wobec wody zasilającej kotły wysokociśnieniowe wytwarzające parę BWT wg producenta

Table 2. Requirements for high pressure boiler feed water generating BWT steam according to the manufacturer

Parametr	Wymagana wartość
pH	> 9
Twardość	< 0,02
Tlen mg/dm ³	< 0,02
CO ₂ związany mg/dm ³	< 25
Żelazo ogólne mg/dm ³	< 0,05
Utlenialność mg/dm ³	< 10
Olej, tłuszcz mg/dm ³	< 1

Źródło: Anlagenbeschreibung A-nr 23/7610 BWT Wassertechnik [5]

Z uwagi na konieczność zachowania ciągłości dostawy energii cieplnej do nowych kotłów skierowano wodę podczyszczoną na jedynej funkcjonującej w zakładzie stacji wykorzystującej aerację i filtrację. Woda opuszczająca stację charakteryzowała się wskaźnikami poziomu zanieczyszczeń zamieszczonymi w tabeli 1.

Ponieważ wszystkie parametry znacznie przekraczały normy zanieczyszczenia dopuszczalne dla wody kotłowej, firma ENERGO-TECH sp. z o.o. zwróciła się do Politechniki Białostockiej z prośbą o wykonanie projektu i dobór urządzeń nowej stacji uzdatniania wody kotłowej. Projektowana stacja stanowić miała źródło czystej wody jedynie dla parowych kotłów gazowych BWT (zakładu włókienniczego ANDROPOL S.A. budowana miała być inna stacja).

3. Wyniki badań i dyskusja

W oparciu o uzyskane wcześniej wyniki badań wody surowej i wody podczyszczonej na odżelaziaczu zaprojektowano 3 filtry piaskowe o objętości $0,75 \text{ m}^3$ i powierzchni $0,5 \text{ m}^2$ oraz 6 wymienników jonitowych wypełnionych masą kationitową PUROLITE 100E o objętości 100 dm^3 każdy. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z obowiązującą metodyką oraz zapewnieniem prawidłowych parametrów pracy urządzeń. Zakładano, że podczas filtracji obniżone zostaną ilości zanieczyszczeń mechanicznych odpowiadających za mętność, zawiesiny i częściowo barwę, natomiast wymiana jonowa pozwoli na zatrzymanie kationów odpowiedzialnych za twardość, a ponadto żelazo i mangan, które mogą też podwyższać barwę.

Uzyskane wyniki badań wody po stacji uzdatniania wody kotłowej ukazano w tabeli 3.

Dane zamieszczone w tabeli jednoznacznie wskazują, iż woda zasilająca kotły nie jest oczyszczona w zadowalającym stopniu. Na skutek klarowania wody na nowych filtrach piaskowych i wymiany jonowej uzyskano obniżenie twardości ogólnej, manganu, żelaza, barwy i mętności. Nie nastąpiło obniżenie utlenialności, czego też można się było spodziewać, gdyż zastosowane procesy nie nadają się do usuwania z wody zanieczyszczeń organicznych. Można też przypuszczać, że pozostałe żelazo w ilości około $0,4 \text{ mg/dm}^3$ nie zatrzymywane na kationicie, stanowiły kompleksy organiczne, które mogły właśnie tę barwę powodować. Oba wskazane parametry są zanieczyszczeniami wpływającymi na prawidłową pracę oraz utrzymanie kotłów. W oczyszczonej wodzie pozostały też śladowe ilości azotu amonowego. Co prawda w obieg parowy nie wprowadzana była zanieczyszczona para, jednak stopniowa kondensacja zanieczyszczeń kumulowała się w kotłach i wymuszała częste odsalanie ich zawartości, co z kolei wiązało się z wyłączeniem urządzenia z pracy i straty w dostawie energii. Prawidłowo funkcjonujący kocioł powinien być wyłączany na czas odsalania jeden raz na dwa tygodnie, natomiast w analizowanym zakładzie proces ten odbywała się co 18 godzin. Ponadto na wymienniki jonowe nie powinna trafiać woda zawierająca zanieczyszczenia organiczne, gdyż może to doprowadzić do uszkodzenia masy.

Tabela 3. Parametry wody oczyszczonej na każdym z pracujących wymienniku jonowym**Table 3.** Parameters of purified water at each of the working ion exchanger

Oznaczany parametr wody	K1	K2	K3	K4		K5	K6	Woda zmiesz. po kationitach
				Przed pukaniem	Po płukaniu			
pH	7,36	7,39	7,41	7,50	7,55	7,41	7,53	7,45
Barwa [mg Pt/dm ³]	30	29	29	31	31	25	16	29
Mętność [mg SiO ₂ /dm ³]	5	4	3	7	6	3	4	4
Przewodność [μS/dm ³]	241,3	236,5	239,3	241,9	235,1	234,0	222,1	239,5
Żelazo [mg/dm ³]	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
Mangan [mg/dm ³]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	6,6	5,8	6,5	5,5	5,5	6,1	5,8	5,7
Twardość [mval/dm ³]	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
NH ₄ [mg/dm ³]	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04

Źródło: opracowanie własne

Powyższe argumenty zdecydowały o zastosowaniu dodatkowego procesu, który pozwoliłby na usunięcie barwy, organicznych połączeń żelaza, azotu amonowego, jak też resztkowej mętności, a co za tym idzie – przewodności. Rozpatrywano procesy: koagulacji, wstępnego utleniania z zastosowaniem nadtlenu wodoru oraz sorpcję, które poprzedziłyby wymianę jonową. Skuteczność powyższych metod sprawdzono laboratoryjnie, uzyskane wyniki badań umieszczono w tabeli 4.

Tabela 4. Porównanie poszczególnych metod w oczyszczaniu wody kotłowej ENERGO-TECH sp. z o.o.

Table 4. Comparison of different methods of boiler water treatment for ENERGO-TECH Ltd.

Oznaczany parametr wody	Koagulacja PAX-114	Koagulacja $Al_2(SO_4)_3$	Utlenianie 0,5 mg H_2O_2	Utlenianie 1 mg H_2O_2	Sorpcja
pH	4,34	4,27	7,55	7,57	5,76
Barwa [mg Pt/dm ³]	0	0	54	30	0
Mętność [mg SiO ₂ /dm ³]	0	0	0	0	0
Żelazo [mg/dm ³]	0,30	0,05	0,80	0,70	0,50
Mangan [mg/dm ³]	0,09	0,05	0,05	0,08	0,10
Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	2,90	1,60	0	0	0
Twardość [mval/dm ³]	29,30	21,80	25,50	22,10	6,10
NH ₄ [mg/dm ³]	0	0	0,21	0,13	0
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	0	0	0,30	0,31	0

Źródło: opracowanie własne

Koagulację prowadzono z zastosowaniem popularnych i dostępnych na rynku koagulantów PAX-114 oraz 15 % roztworu $Al_2(SO_4)_3$. Dawkę ich obliczono na podstawie barwy w oparciu o chemicznie czysty siarczan glinu, co dało w pierwszym przypadku 513 mg/l, a w drugim 905 mg/l, a w przeliczeniu na objętość 0,38 ml/dm³ i 0,78 ml/dm³. Wybrany do procesu wstępnego utleniania środkiem chemicznym był H_2O_2 , ponieważ jest to środek powszechnie stosowany w zakładzie w procesie bielenia tkanin i jego ewentualny zakup nie wiązałby się

z dodatkowymi kosztami i szeregiem zezwoleń. Zastosowano dawki nadtlenu 0,5 ml/dm³ i 1,0 ml/dm³. Ostatnią z metod była sorpcja na węglu granulowanym Organosorb 10 DESOTEC. Jest to popularny węgiel o optymalnej granulacji odporny mechanicznie na ściskanie i umożliwiający realizację procesu przy wyższych prędkościach, co jest szczególnie istotne w zakładzie przemysłowym wymagającym większych ilości wody przy jak najniższych kosztach jej przygotowania.

Uzyskane dzięki przeprowadzonym badaniom wyniki pozwoliły zauważyć, że najskuteczniejszym spośród trzech wybranych procesów okazała się sorpcja na węglu aktywnym. Podobną skutecznością wykazała się koagulacja. Oba procesy pozwoliły na całkowite usunięcie barwy, mętności, azotu amonowego i azotanowego (V). Znacznie też uległ obniżeniu poziom utleniałości. W przypadku koagulacji zauważono wyraźny wzrost twardości w oczyszczanej wodzie, podczas gdy przy sorpcji ta wartość nie uległa zmianie w stosunku do wody zasilającej stację uzdatniania dla kotłów.

Niemniej jednak proces koagulacji wymagał znacznie mniejszych nakładów inwestycyjnych niż sorpcja, dlatego też inwestor bardziej schylał się ku tej opcji. Dysponował na funkcjonującej stacji mieszalnikiem statycznym oraz komorą reakcji, które do tej pory pozostawały niewykorzystane. Natomiast zbiorniki stanowiące filtry węglowe należałoby zakupić. Również koszt węgla znacznie przewyższał koszt koagulantu.

Ostatecznie przyjął sugestie projektanta (autora niniejszej pracy) i zdecydował zastosować proces sorpcji, ponieważ powstający w przypadku koagulacji poreakcyjny osad nadmierny całkowicie zakłócałby zakładową gospodarkę osadową i wymagałby dodatkowych zezwoleń.

Zaprojektowano 3 filtry sorpcyjne o powierzchni 0,3 m² i wysokości 1,5 m wypełnione węglem Organosorb10 na podsypce żwirowej.

Wszystkie zastosowane procesy uzdatniania pozwoliły uzyskać wysoki stopień oczyszczenia wody wymagany przez producentów parowych kotłów BWT (tabela 5).

Tabela 5. Parametry wody oczyszczonej na zaprojektowanej stacji
Table 5. Parameters of purified water on the designed installation

Oznaczany parametr wody	Kondensat z kotła	Woda po SUW
Barwa [mg Pt/dm ³]	4	0
Mętność [mg SiO ₂ /dm ³]	1	0
pH	7,66	7,55
Utlenialność [mg O ₂ /dm ³]	0,1	0,1
Zasadowość [mval/dm ³] Zp/Zm	0,0/4,7	0,0/4,0
Zawiesiny ogólne [g/dm ³]	0,0	0,0
Zasolenie całk. [g/dm ³]	0,81	0,44
Żelazo ogólne [mg/dm ³]	0,05	0,0
Mangan ogólny [mg/dm ³]	0,0	0,0
Twardość ogólna [mval/dm ³]	0,0	0,0
Azot amonowy [mg/dm ³]	0,4	0,0
Chlorki [mg/dm ³]	15	15
Fosforany [mg/dm ³]	0,45	0,41
Krzemiany [mg/dm ³]	0,0	0,0
Siarczany [mg/dm ³]	164	118
Azotany [mg/dm ³]	0,04	0,01

Źródło: opracowanie własne

W tabeli zestawiono parametry wody zasilającej kotły z parametrami odmulin z kotła, który po zastosowaniu opisanych wcześniej procesów nie musiał być już tak często odsalany jak wcześniej. Przed zamontowaniem stacji odsalania kotła realizowane było co 8÷12 godzin, natomiast po co 48-60 godzin. Wynikiem tego były znaczne oszczędności wody oraz energii w zakładzie.

4. Wnioski

1. Przy projektowaniu stacji uzdatniania wody kotłowej należy brać uwagę rodzaj kotłów, wymagania producentów oraz częstotliwość odsalania kotłów.
2. Na projektowanej stacji kotłowa woda uzupełniająca prowadzona jest z tego samego źródła co woda zasilająca i poddawana jest tym samym zabiegom oczyszczania.

3. Istotnym czynnikiem, który projektant stacji powinien wziąć pod uwagę są możliwości ekonomiczne inwestora, nie wykorzystane i dostępne urządzenia oraz zaplecze techniczne.
4. Jednym z najtrudniejszych w oczyszczaniu wskaźników zanieczyszczenia wody okazała się barwa i żelazo ogólne. Aby zapewnić pełne oczyszczenie wody na potrzeby kotłowe, zastosowano aerację, filtry piaskowe, filtry sorpcyjne oraz filtry jonitowe wypełnione kationitom. Bezpośrednio przed kotłem zamontowano desorber dwutlenku węgla.
5. Istnieje niebezpieczeństwo, że woda oczyszczona w opisany w niniejszej pracy sposób może ujawnić właściwości korozyjne, co w przyszłości może doprowadzić do niszczenia ścian kotłów.
6. W projektowanej stacji powinny być jeszcze uwzględnione wymienniki jonowe – aniony, które pozwolą na pełną demineralizację i odkwaszenie oczyszczanej wody, co zapobiegnie niszczeniu kotłów.

Literatura

1. **Stańda J.:** *Woda do kotłów parowych i obiegów chłodzących siłowni ciepłych.* Warszawa 1999. s. 51.
2. **Pawlik M., Strzelczyk F.:** *Elektrownie.* Warszawa 2009. s. 58.
3. **Kowal A. L., Świdorska-Bróz M.:** *Oczyszczanie wod. Podstawy teoretyczne i technologiczne, procesy i urządzenia.* Warszawa 2007, s. 669÷673, 676.
4. PN-85/C-04601: Woda do celów energetycznych. Wymagania i badania jakości wody dla kotłów wodnych i zamkniętych obiegów ciepłowniczych, obowiązująca od dnia 1 lipca 1986 r.
5. Anlagenbeschreibung A-nr 23/7610 BWT Wassertechnik, Schriesheim 1996

Experience from the Design and Implementation of Boiler Water Treatment Installation for ENERGO-TECH Co. Ltd.

Abstract

The subject of this paper is a summary of considerations for selecting the optimum system for boiler water treatment installation for ENERGO-TECH Co. Ltd., which is a supplier of heat in the form of steam and water treatment plant manager for a large textile company Andropol SA. The water treatment plant functioning up to now was equipped with an open aeration chamber. On its bottom the perforated pipes with bored holes were placed. It was not suitable water treatment for high-pressure boilers. Used technology allowed to decrease turbidity in the water, suspensions, and partly iron and manganese contents.

As part of this project and based on previously obtained results of raw water, 3 sand filters and 6 ion-exchange filters filled with a cation bed Purolite 100E were designed for proper preparation of water for boilers. A satisfactory degree of removal of iron, color, turbidity, ammonia nitrogen and oxidability were not obtained as a result of the used processes. Therefore, the following additional processes were considered: coagulation, pre-oxidation using hydrogen peroxide and sorption, before ion exchange. The effectiveness of these methods was examined in the laboratory. Sorption with activated carbon has proved the most effective of the three selected processes.

There is a danger that the purified water in the way described in this study may reveal the corrosion properties, which in future may lead to the destruction of the walls of boilers.

The proposed installation should include ion exchangers – anion exchangers, which allow a complete demineralization and deacidification of purified water, to prevent the destruction of the boilers.