

Wpływ jakości wody zasilającej kotły parowe na oszczędne i racjonalne ich odsalanie

Influence of the quality of feed water to steam boilers on their economical and rational desalination

JAN MARJANOWSKI

DOI 10.36119/15.2020.11.1

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie problemów związanych z eksploatacją kotłów parowych o ciśnieniu roboczym do 20 barów. Szczególną uwagę zwrócono na wymagania jakości wody zasilającej kotły parowe, jak też problem odsalania oraz oszczędności wody i ciepła. Wskazano technologie uzdatniania wody, najbardziej optymalne w zastosowaniu.

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. Particular emphasis is put on the quality of steam boiler feed water, on desalting problems, water and heat savings. Water treatment technologies are indicated, the most cost-effective in application.

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

Metody uzdatniania wody na potrzeby zasilania i uzupełniania kondensatu kotłów parowych

Przygotowanie wody zasilającej kotły parowe o ciśnieniu do 20 barów, bez zwrotu kondensatu z powodu zanieczyszczeń pary lub z częściowym zwrotem oraz z normalnym wysokim zwrotem kondensatu, winno zmierzać w takim kierunku, aby sprostać wymaganiom producenta kotła oraz odpowiednim przepisom w zakresie jakości wody zasilającej i kotłowej, co przedstawiono w artykule J. Marjanowskiego [1].

Czynnikami decydującymi o jakości wody zasilającej są:

- parametry pracy kotła,
- warunki eksploatacji,
- obciążenie powierzchni wymiany ciepła kotła,
- konstrukcja kotła,
- wymagania producenta kotła, co do jakości wody zasilającej i kotłowej i normami unijnymi i krajowymi.

Instalując nowoczesne kotły charakteryzujące się wysokim obciążeniem cieplnym i małą objętością odparownika w stosunku do wydajności kotła, należy sobie zdać sprawę z faktu, że woda zasilająca powinna być odpowiednio dobrze przygotowana, aby z jednej strony nie narażała stalowej powierzchni kotła na korozję, a z drugiej strony na osady kamie-

nia kotłowego. Obecnie w nowych kotłowniach przy instalacji kotłów parowych zmierza się do wyposażania stacji uzdatniania wody w urządzenia do pełnej demineralizacji wody. Bynajmniej nie jest to nowy, przejściowy trend, lecz technologicznie i ekonomicznie uzasadniony wybór, podczas projektowania nowoczesnej kotłowni, wynikały generalnie z przesłanek rachunku ekonomicznego. Ważnym etapem przy podejmowaniu decyzji o wyborze typu technologii i ciągu technologicznego przygotowania wody zasilającej dla kotłów jest porównanie kosztów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych.

Warto także dla lepszego zrozumienia niniejszego artykułu w dalszej części wyjaśnić znaczenie poszczególnych terminów, używanych w technice energetycznej:

Kondensat – stanowią 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 parowych, w wyniku ciągłego odparowania, następuje systematyczne zanieczyszczenie wody kotłowej i tym samym zmiana jej składu chemicznego w porównaniu z wodą zasilającą.

Woda zasilająca – to woda stanowiąca mieszaninę kondensatu i wody dodatkowej, zasila i uzupełnia straty wody

w kotle, co pozwala na ciągłą produkcję pary wodnej.

Woda dodatkowa – to woda produkowana przez stację uzdatniania wody, służy wraz z kondensatem 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). Powinna również być odtloniona w odgazowyzawczu, razem z kondensatem jako woda zasilająca przed podaniem jej do kotła.

Kondycjonowanie jest procesem zapewnianym wodzie optymalny stan, nie niszczącego oddziaływania wody na urządzenie, osiągnięty poprzez zmiękczenie, częściową lub całkowitą demineralizację wody i końcową korekcję chemiczną, polegającą na wprowadzeniu do niej w miarę potrzeby inhibitorów korozji, dyspergantów i antyskalantów.

Odsalanie kotła – proces upuszczania osadów na zewnątrz kotła, z powierzchniowej warstwy wody kotłowej, celem zmniejszenia ogólnej zawartości soli w wodzie kotłowej, do określonej wartości zasolenia, a najczęściej przewodnictwa elektrolitycznego wody.

Odmulanie kotła – proces gwałtownego kilkusekundowego otwarcia zaworu

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

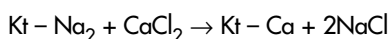
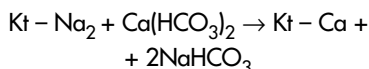
spustowego odmulania, w celu wypro-
wadzenia na zewnątrz kotła nieroz-
puszczalnych soli w formie mułu, gromadzących się w najniższej części kotła.

W praktyce najczęściej spotykanymi
technologiami uzdatniania wody dodatko-
wej są wymienione w kolejności zaawan-
sowania technologicznego:

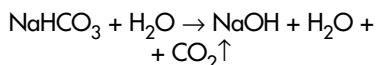
- zmiękczenie wody w złożu jonowy-
miennym silnie kwaśnego kationitu,
regenerowanego kationem sodowym,
- demineralizacja wody w instalacji
membranowej odwróconej osmozy
(RO – ang. reverse osmosis),
- dekarbonizacja (zamiennie dealkali-
zacja) wody najpierw w złożu słabo
kwaśnego kationitu regenerowanego
kwasem solnym lub siarkowym,
desorpcja CO₂, końcowe zmiękczenie
wody w złożu silnie kwaśnego kationi-
tu w formie sodowej.

**Zmiękczenie wody w wymiennikach
kationitowych z regeneracją
roztworem NaCl**

Zmiękczacze przeciwdziałają wytrącaniu
się osadów kamienia wodnego w wodzie
kotłowej. Za pomocą zmiękczacza, a wła-
ściwie w złożu jonowymiennym kolumny
zmiękczacza, zawierającego kationit silnie
kwaśny, jest usuwana jednocześnie twardość
węglanowa i stała wody. Usuwane są
jony wapnia i magnezu związane z wodo-
węglanami, jak i anionami mocnych
kwasów (np. chlorki, siarczany) w myśl
reakcji:



Usunięcie z wody jonów wapnia
i magnezu, a więc kationów osadotwór-
czych i zastąpienie ich jonem sodowym,
posiadającym wysoką rozpuszczalność
w połączeniu z wieloma anionami, np.
CO₃²⁻, SO₄²⁻, gwarantuje zahamowanie
procesów wytrącania się osadów z wody
w kotle. Wymieniony zostaje przez jonit
kation wapnia i magnezu na kation sodu,
który tworzy w zmiękczonej wodzie wodo-
węglan sodowy NaHCO₃. Związek ten
na gorąco hydrolyzuje prowadząc do
wzrostu odczynu wody. W wodzie kotło-
wej pozostaje NaOH, natomiast z parą
ulatnia się dwutlenek węgla, zakwaszając
w konsekwencji kondensat. Omawiane
zjawisko można opisać reakcją:



Stąd też uzdatnianie wody tą metodą
prowadzi do jej alkalizacji w kotle (poja-
wia się NaOH) i wzrostu odczynu pH,
a także ostatecznie wzrostu zasolenia
wody, co powoduje straty wody i energii
w procesie odsalania.

Zmiękczacze są regenerowane
w znany sposób za pomocą roztworu
chlorku sodu – NaCl, czyli popularnie soli
kuchennej. Należy zaznaczyć, że technika
zmiękczenia wody na kationicie nie wpły-
wa na zmniejszenie jej przewodnictwa,
pozostaje ono podobne do tego, jakie
wykazywała woda przed zmiękczeniem.
W złożu kationitu wymienia się tylko
kation wapnia i magnezu na kation sodu,
aniony soli związane wcześniej z wap-
niem i magnezem nie ulegają zmianie,
a wiążą się z kationem sodu w odpowied-
nie, dobrze rozpuszczalne sole sodowe
np. wodorowęglan sodu, chlorek sodu,

siarczan sodu. Na rysunku 1 zilustrowano
graficznie proces zmiękczenia wody
zachodzący w złożu kationitu, w począt-
kowej fazie na świeżo zregenerowanym
solą NaCl kationicie oraz w końcowej
fazie procesu zmiękczenia, aż do momen-
tu przebiccia twardości wody na wylocie
z wymiennika.

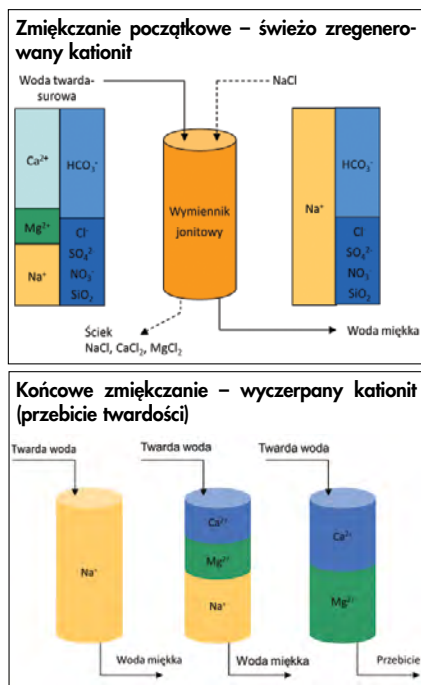
Rysunek 2 prezentuje klasyczną stację
zmiękczenia używaną w kotłowniach
wodnych parowych.

**Demineralizacja wody w instalacji
odwróconej osmozy**

Proces demineralizacji metodą RO
prowadzony jest na spiralnych modułach
membranowych odwróconej osmozy
i polega na wysokociśnieniowej filtracji
rozpuszczonych soli i zawiesin pochodze-
nia nieorganicznego i organicznego
zawartych w wodzie, przez ciekłą prze-
grody półprzepuszczalnej membrany RO.
Proces musi pokonać ciśnienie osmotyczne
jakie powstaje na granicy błony membra-
ny, tak aby przez membranę przeszła czy-
sta woda H₂O, a sole i związki organicz-
ne pozostały przed membraną. W rzeczy-
wistości proces jest bardziej skomplikowa-
ny i wymaga dużej staranności w przy-
gotowaniu wstępnym wody, aby mem-
brana mogła długo pracować, nie zapy-
chając się zanieczyszczeniami zawartymi
w wodzie zasilającej, tzw. nadawie.

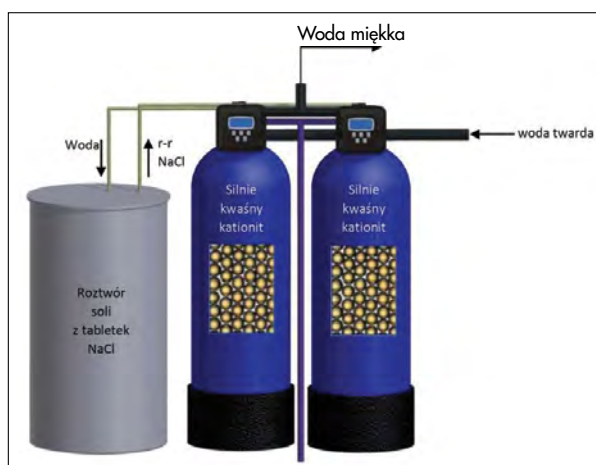
Wstępne przygotowanie wody ma na
celu wydłużenie żywotności membran,
ponieważ związki żelaza i manganu oraz
jony wapnia, magnezu, baru, strontu
mogą tworzyć zwarte osady blokujące
membranę. Usuwanie z wody wolnego
chloru (dodawanego w celach dezyn-
fekcyjnych) ma na celu ochronę materiału
membran przed utlenieniem, a tym samym
przed mechaniczną destrukcją [2,3].

Siłę napędową procesu separacji stan-
owi: gradient stężeń i ciśnień cząstkowych
oraz wielkość ciśnienia nadawy, wymu-
szającego przenikanie rozpuszczalnika



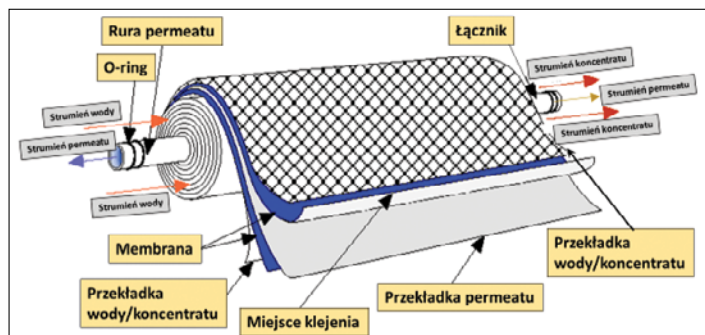
Rys. 1
Ilustracja graficzna procesu zmiękczenia wody
w początkowej i końcowej fazie

Rys. 2
Dwukolumnowa stacja zmię-
kczenia ze zbiornikiem solanki
na tabletki solne



(wody) przez półprzepuszczalną membranę. Wydajność procesu zależy także od temperatury roztworu.

Sposób wykonania najczęściej stosowanego spiralnego modułu membrany i przepływ poszczególnych strumieni: wody surowej (nadawy), przesącza (permeatu) i odrzutu wodnego (koncentratu) ilustruje rysunek 3.



Rys. 3. Budowa pojedynczego modułu spiralnego odwróconej osmozy (RO)

Urządzenia odwróconej osmozy są zbudowane z wielu membran, aby zapewnić odpowiednią wydajność urządzenia. Membrany w jednym stopniu łączy się szeregowo przygotowanymi przez producentów przyłączami i montuje się w odpowiednie obudowy rurowe, zwane housingami. Urządzenie odwróconej osmozy RO jest urządzeniem służącym do demineralizacji wody. Woda wstępnie uzdatniona wpływa na kilka modułów membranowych I stopnia urządzenia RO. Koncentrat powstały w I stopniu jest kierowany jako nadawa na membrany drugiego stopnia, gdzie zachodzi II stopień filtracji. Dla ekonomii procesu koncentrat powstały w II stopniu jest z kolei kierowany na membrany trzeciego stopnia RO. Woda uzdatniona tj. permeat jest wyprowadzana środkowym, wewnątrz perforowanym przewodem (jak na rys. 3) z każdego stopnia osobno, do wspólnego kolektora permeatu. Permeat stanowi zdemineralizowaną wodę (czy też prawie zdemineralizowaną wodę) do zasilania kotłów jako uzupełnienie kondensatu. Z reguły 75% nadawy stanowi zdemineralizowana woda tj. permeat a 25% odrzut wodny koncentratu zawierający prawie wszystkie sole jakie woda miała na wlocie do urządzenia RO.

Zależnie od zasolenia i temperatury wody zasilającej oraz typu zastosowanych membran produkt RO (permeat) może mieć przewodność od 5 do 25 S/cm, co odpowiada zasoleniu od 3 do 14 mg/dm³. Większe zasolenie nadawy wymaga wytworzenia wyższego ciśnienia na wlocie do urządzenia, niższe ciśnienia są możliwe dla nadawy o niższym poziomie zasolenia. Praktyczne ciśnienia robocze dla nadaw będących wstępnie uzdatnio-

nymi wodami ze studni (woda odżelaziona, odmanganiona) lub ze źródeł powierzchniowych, jakościowo porównywalnych co najmniej z wodą do picia, zawierają się z reguły w zakresie 13-20 barów. Ciśnienie przed membranami wytwarza wielostopniowa pompa zamontowana najczęściej na ramie instalacji RO. W obu przypadkach woda powinna być

nia jej wstępną obróbkę. Wylot permeatu jest korygowany chemicznie przed wlotem wody do odgazowywacza.

Na rysunku 5 przedstawiono instalację odwróconej osmozy do zasilania kotłów parowych w zakładzie mleczarskim pracujących w układzie kogeneracji w nowo wybudowanym w 2019 roku zakładzie przeróbki serwatki. Woda zasilająca instalację RO (nadawa) stanowi wodę uzyskiwaną ze skroplin z odparowania serwatki w wyparkach serwatki po wstępnej obróbce, na polisherach RO. Technologia przygotowania wody została opisana przez Marjanowskiego, Zandera i współautorów w „Przeglądzie Mleczarskim” w 2016 roku [4].

Dekarbonizacja wody na słabo kwaśnym kationicie regenerowanym jodem wodorowym

Ten rodzaj uzdatniania wody jest obecnie w zaniku. Wypiera go instalacja odwróconej osmozy jako nowocześniejsza, pracująca bez kwasu, który powoduje problemy środowiskowe i bezpieczniejsza dla pracowników kotłowni.

Jonitowa dekarbonizacja wody połączona ze zmiękczeniem włącznie może być przeprowadzona na wiele sposobów. Niemniej na potrzeby przygotowania

zmiękczona lub powinien być do niej dozowany antyskalant w przypadku braku zmiękczenia.

Poniżej na rysunku 4 przedstawiono instalację odwróconej osmozy do zasilania kotłów parowych. Jak widać sama instalacja RO jest obudowana na wlocie do niej wody (nadawy) filtrem z węglem aktywnym oraz zmiękczaczem, co zapew-

Rys. 4 Instalacja RO dla celów kotłowych. Woda jest wstępnie uzdatniana w filtrze węglowym, a następnie zmiękczaczu zanim wpłynie do instalacji membranowej



Rys. 5 Stacja RO przygotowania wody zdemineralizowanej do celów zasilania kotłowni pracującej w układzie kogeneracji. Na pierwszym planie widoczna dwustopniowa instalacja odwróconej osmozy z pompą ciśnieniową. Po lewej stronie widoczne kolumny zmiękczacza, wykorzystywane w przypadku awaryjnego zasilania RO wodą odżelazioną twardą

wody do kotłów parowych stosowany jest sposób polegający na szeregowej wymianie wodorowo-sodowej. Polega ona na trzyetapowej realizacji procesu:

I etap:

Polega na przepuszczaniu odżelaznionej wody przez kationit słabo kwaśny w formie H⁺. Jonit jest regenerowany kwasem solnym ze stechiometrycznym nadmiarem ok. 150% kwasu w stosunku do zatrzymanych jonów. Na kationicie zatrzymaniu ulegają związki wapnia i magnezu pochodzące z twardości węglanowej.

II etap:

Polega na przepuszczeniu wody przez desorber celem usunięcia z powietrzem agresywnego dwutlenku węgla powstającego z rozpadu kwasu węglowego, jaki się wytworzył w procesie wymiany jonowej na słabo kwaśnym kationicie w I etapie.

III etap:

Polega na przepuszczeniu zdekarbonizowanej wody po II etapie przez kolumny z silnie kwaśnym kationitem w formie sodowej. Dzięki temu kationy wapnia i magnezu pochodzące od twardości stałej (niewęglanowej) pozostają po I etapie ulegają zatrzymaniu na kationicie, skutkiem czego woda jest całkowicie zmiękczona. Schemat instalacji do kwasowej dekarbonizacji i zmiękczenia wody metodą jonitową przedstawiono na rys. 6 [5].

prostego zmiękczenia na silnie kwaśnym kationicie regenerowanym kationem sodowym. Niemniej, aby usunąć jeszcze niską twardość niewęglanową wymagane jest zmiękczenie wody w tradycyjnych zmięczaczach opisanych wcześniej. Woda tak przygotowana nie zwiększa odczynu pH wody kotłowej i nie przenosi do pary dwutlenku węgla. Oba te zanieczyszczenia są usunięte w trakcie uzdatniania wody.

Do wad tego systemu uzdatniania wody zalicza się:

- konieczność posługiwania się agresywnym kwasem solnym,
- konieczność neutralizacji kwaśnych ścieków po I etapie,
- stosunkowo duża przestrzeń zajęta przez stację uzdatniania wody.

Niestety, w czasach technik membranowych metoda ta nie jest tańsza od metody odwróconej osmozy, co w przypadku małych instalacji przemawia za stosowaniem tej ostatniej. Z tych też względów autor nie zaleca tej metody w przypadku budowy nowych stacji, a w stacjach już wiele lat eksploatowanych zaleca szybsze jej wyeliminowanie na rzecz odwróconej osmozy.

Odgazowanie termiczne wody zasilającej przed wprowadzeniem do kotła

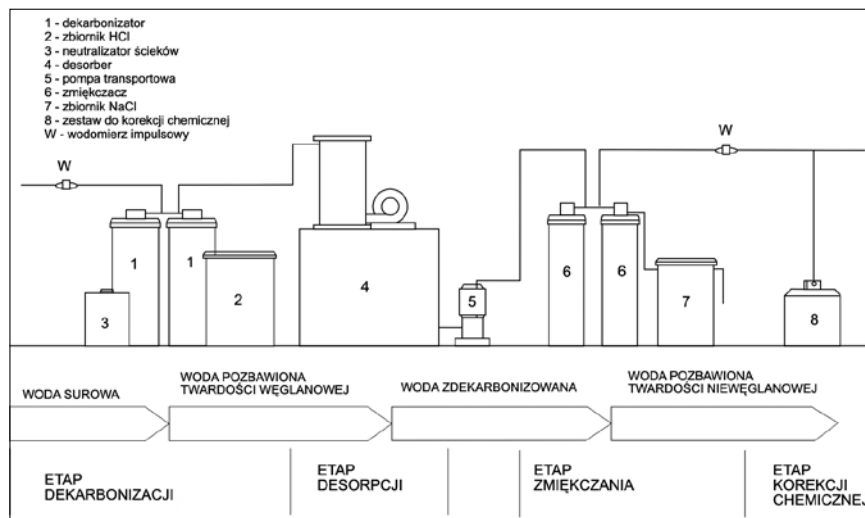
Woda zasilająca kocioł, a więc mieszanina kondensatu i wody dodatkowej (zmiękczonej, zdemineralizowanej lub

dwutlenek węgla w zależności od wymiennej wyżej metody przygotowania wody może osiągać wartości do kilkudziesięciu mg CO₂/l. Oba korozyjnie oddziałujące gazy, a także i inne np. obojętny azot rozpuszczony w wodzie, są usuwane w odgazowywaczu termicznym, podgrzewanym parą z obiegu kotłowego. Jest to najtańsza i jednocześnie najskuteczniejsza metoda usuwania gazów z wody, tam gdzie dysponuje się parą grzewczą.

Proces odgazowania termicznego stanowi metodę wydzielenia z wody rozpuszczonych gazów w procesie desorpcji przebiegającej w wyniku:

- tworzenia się pęcherzyków gazu i ich konwekcji z wody do fazy gazowej,
- dyfuzji gazu przez graniczną powierzchnię faz,
- ostatecznie usunięcie gazu na zewnątrz odgazowywacza.

Budowa klasycznych odgazowywaczy termicznych używanych na potrzeby kotłów produkujących parę do 20 barów przez lata niewiele się zmieniła. Odgazowywacz stanowi zespół kolumny i zbiornika wody odgazowanej. W górnej jego części mieści się kolumna, gdzie zachodzi intensywnie właściwy proces odgazowania. Woda zasilająca podawana jest od góry na kolumnę odgazowywacza (właściwy odgazowywacz) i grzana jest od dołu parą wodną. Z kolumny odgazowana woda zbierana jest w dolnej części zespołu odgazowywacza tj. w zbiorniku odgazowywacza, gdzie jeszcze dogrzewana jest barbotką parową zamontowaną w dolnej części zbiornika. Aby proces odgazowania wody mógł zaistnieć, woda musi osiągać ciśnienie nasycenia w danej temperaturze. To znaczy musi dochodzić do pęcherzykowego wrzenia wody, które wyzwala pęcherzyki gazu zarówno tlenu, dwutlenku węgla, jak też innych gazów zawartych wcześniej w wodzie. Gaz ostatecznie przedostaje się do górnej części kolumny odgazowywacza i stamtąd uchodzi na zewnątrz kolumny wraz z resztką pary w postaci oparów przez odpowiednio regulowany zawór oparów. Dużym błędem jest całkowite zamykanie zaworu oparów z powodu np. oszczędności energii. Taka "nadwrażliwość" prowadzi do braku usuwania szkodliwych gazów wraz z oparami. J. Marjanowski wielokrotnie spotykał się z takim podejściem służb technicznych, które w ten sposób próbowały „oszczędzać energię”, doprowadzając w krótkim czasie do korozji płomieniówek w kotle. Współczesne odgazowywacze termiczne pracujące z reguły w reżimie ciśnienia wewnętrznego 0,2 bara osiągają pełne odgazowanie wody w temperaturze



Rys. 6
Schemat stacji dekarbonizacji i zmiękczenia wody do celów ciepłowniczych

W wyniku łącznego procesu dekarbonizacji i desorpcji CO₂ uzyskuje się wodę o zmniejszonym przewodnictwie pozbawioną twardości węglanowej. Średnio w warunkach polskich jest to zmniejszenie przewodnictwa o ok. 50%, co stanowi dużą zaletę tego systemu w stosunku do

zdekarbonizowanej) musi być przed wprowadzeniem do kotła odgazowana i odtleniona. Należy usunąć z niej rozpuszczony w wodzie tlen oraz dwutlenek węgla. Tlen rozpuszczony w wodzie, szczególnie w wodzie dodatkowej osiąga wartości zwykle do 10 mg O₂/l, natomiast

105°C. Przy tym żadna zbliżona temperatura wody w odgazowywaczu np. 101°C nie gwarantuje odgazowania wody, może być to odgazowanie w zaledwie kilku procentach, co najwyżej. Dopiero osiągnięcie stanu nasycenia wody, a więc wrzenia pęcherzykowego powoduje pełne odgazowanie wody, które dla ciśnienia 0,2 bara zaczyna się w 104°C i jest podtrzymywane ciągle w temperaturze 105°C. Zatem nie ma pośrednich mniej lub więcej efektywnych stadiów odgazowania. Odgazowanie albo jest, albo go nie ma i cały proces odbywa się w temperaturach 104 – 105°C i tylko tym zakresie wartości temperatury można uzyskać wymagane odlenienie wody do stężenia tlenu 0,02 mgO₂/l.

Do podstawowych zadań termicznego odgazowania wody zasilającej kotły parowe zalicza się ostatecznie: usuwanie tlenu, usuwanie dwutlenku węgla, co prowadzi do eliminacji procesów korozyjnych. Przez to uzyskuje się wzrost bezpieczeństwa pracy kotła i całego systemu parowego oraz przewodów powrotnych skroplin.

Odgazowanie termiczne wody jest kolejnym stopniem jej uzdatniania, po którym może nastąpić niezbędna korekcja chemiczna wody niewielką ilością chemikaliów.

Poniżej na rysunku 7 pokazano jedno z nowoczesnych i oszczędnych w zużyciu pary grzejnej rozwiązań technicznych odgazowywacza termicznego zawierającego klasyczną kolumnę odgazowującą i zbiornik wody odgazowanej.

Korekcja chemiczna wody po odgazowywaczu.

Kondycjonowanie wody

Użytkownik kotłów parowych musi zadbać o dotrzymanie wymagań dotyczących wody zasilającej i wody kotłowej we wszystkich ich aspektach. Pomimo, że stacja uzdatniania najlepiej pracuje i produkuje nawet wodę zdemineralizowaną w instalacji RO, a woda jest odleniana i odgazowana termicznie, to musi być ona jeszcze dodatkowo uzdatniona z użyciem środków chemicznych.

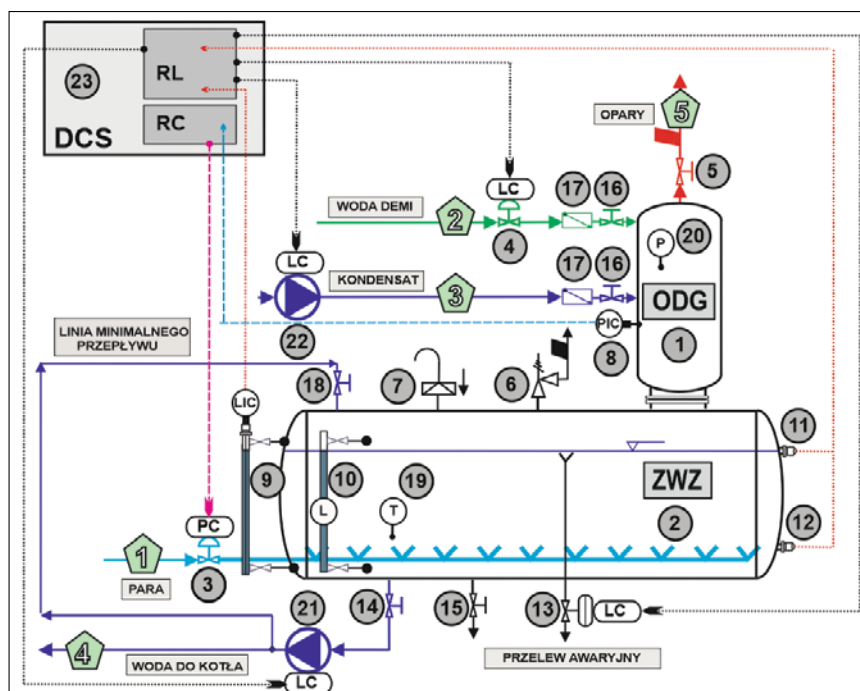
Poprzez korektę wody środkami chemicznymi uzyskuje się:

- związanie resztkowego tlenu (poniżej stężenia 0,02 mgO₂/l),
- redukcję korozyjności poprzez uzyskanie odpowiedniego zakresu odczynu pH wody,
- stabilizację resztkowej twardości,
- przeciwdziałanie odkładaniu się osadów kamienia kotłowego.

Niezbędny czas na przereagowanie środków chemicznych wynosi ok. 20 – 30 minut, stąd korzystnie jest je podawać do zbiornika wody zasilającej (dół zbiornika odgazowywacza termicznego), gdzie woda jest już odgazowana i znajduje się w odpowiedniej objętości mogącej zagwarantować podany czas reakcji.

Ogólnie środki chemiczne przeznaczone do kondycjonowania wody kotłowej podzielić można na pięć podstawowych kategorii:

- **środki alkalinizujące** – substancje i preparaty podnoszące odczyn pH wody zasilającej i kotłowej, tradycyjnie w polskim ciepłownictwie stosuje się tu wodorotlenek sodowy, ortofosforan trójsodowy lub mieszaninę tych dwu związków,
- **odleniacze** – substancje, które usuwają z wody tlen szczątkowy na drodze reakcji chemicznej, najczęściej stosowanymi są siarczyny sodowej, wodorosiarczyny sodowej oraz hydrazyna (z wieloma ograniczeniami ze względu na rakotwórczość). Trzeba od razu wskazać, że dla przemysłu spożywczego, gdzie para może mieć kontakt z żywnością, nie wolno stosować hydrazyny i jej pochodnych oraz związków aminowych;
- **stabilizatory twardości i antyskalanty** – substancje chemiczne, które dodane do wody zapobiegają wypadaniu i osadzaniu trudno rozpuszczalnych soli na powierzchniach wymiany ciepła i elementach konstrukcyjnych; najczęściej stosowane są produkty oparte na fosforanach, związkach fosfonowych, lignosulfonianach, a także organicznych polimerach,
- **inhibitory korozji** – substancje chemiczne posiadające zdolność do znacznego spowolnienia lub całkowitego zahamowania procesów korozyjnych w środowisku wodnym, ze względu na specyfikę działania wyróżnia się substancje odleniające, inhibitory pasywujące, inhibitory adsorpcyjne,
- **środki dyspergujące** – związki, które przeciwdziałają wzrostowi i osadzaniu się cząstek stałych obecnych w wodzie, poprzez zmianę ich ładunku elektrycznego, w rezultacie czego



Oznaczenia: RC, RL – regulator ciśnienia, poziom; LIC – sygnał sterujący poziomem wody; PIC – sygnał sterujący przepływem pary; L, T, P – lokalny pomiar poziomu, temperatury, ciśnienia. LC – sterowanie od poziomu wody w ZWZ; PC – sterowanie od ciśnienia w ODG.

1	Kolumna odgazowywacza (ODG).	9	Poziomowskaz magnetyczny.	17	Zawór zwrotny przed ODG.
2	Zbiornik wody Zasilającej (ZWZ).	10	Radarowy przetwornik poziomu.	18	Zawór minimalnego przepływu.
3	Węzeł zaworu parowego.	11	Przełącznik awaryjnego przelewu.	19	Termometr lokalny.
4	Węzeł zaworu wody uzupełniającej.	12	Przełącznik suchobiegów pomp.	20	Manometr lokalny.
5	Regulacyjny zawór oparów.	13	Zawór awaryjnego przelewu.	21	Pompy kotłowe.
6	Zawór bezpieczeństwa.	14	Zawór wody zasilającej kocioł.	22	Pompy kondensatu.
7	Przerwywacz próżni.	15	Zawór spustowy.	23	Regulatory PID w DCS
8	Przetwornik ciśnienia.	16	Zawór odcinający przed ODG.		

Rys. 7

Schemat technologiczny odgazowywacza termicznego serii TD/DEA (Źródło: Centrum Badawczo-Wdrożeniowe UNITEX Sp. z o.o. w Gdańsku)

cząstki odpychają się i nie podlegają procesowi aglomeracji; głównie stosowane są związki polimerowe, często w połączeniu z surfaktantami.

W ostatnich latach coraz popularniejsze stają się wielofunkcyjne preparaty do korekcji i kondycjonowania wód kotłowych. Preparaty takie, oparte z reguły na kilku komponentach, spełniają jednocześnie funkcje odleniacza, inhibitora korozji, antyskalanta i dysperganta. Wiele z nich cechuje się efektem synergicznym, tzn. w mieszaninie ich własności są odpowiednio korzystniejsze niż wynika to z procentowej zawartości składników.

Stosowanie preparatów wielofunkcyjnych stanowi dla użytkownika instalacji kotłowej duże ułatwienie. Do najważniejszych zalet takiego rozwiązania należą:

- zredukowanie liczby pomp dozujących chemikalia,
- zapobieganie możliwości negatywnych interakcji pomiędzy poszczególnymi komponentami uzdatniania wody – oczywistym jest, że już na etapie doboru komponentów do preparatu wielofunkcyjnego, producent optymalizuje skład w sposób wykluczający wzajemne działanie antagonistyczne składników, tymczasem użytkownik samodzielnie dobierający poszczególne komponenty, dozowane oddzielnie do układu, naraża się na ryzyko wystąpienia negatywnych interakcji między nimi (kontaminacja, działanie antagonistyczne, wzajemna neutralizacja, itp.),
- wykorzystanie synergicznych (wzajemnie wzmacniających się) właściwości komponentów – producent ma możliwość takiego doboru komponentów, aby tworzyły one wzajemnie, najbardziej korzystne dla siebie środowisko działania, dzięki czemu sumaryczny efekt działania preparatu przewyższa znacznie efekt działania pojedynczego komponentu,
- preparaty wielofunkcyjne są bardziej ekonomiczne w użyciu i zwykle z ich wykorzystaniem możliwe jest obniżenie kosztów kondycjonowania.

Autor opracował w latach 2006-2010 typoszereg wielofunkcyjnych preparatów serii ALKAMAR i TANIMAR, do kondycjonowania wody dla kotłów wodnych i parowych oraz sieci ciepłowniczych. Dotychczasowe wieloletnie doświadczenia eksploatacyjne u użytkowników kotłów potwierdzają, że preparaty serii ALKAMAR i TANIMAR pełnią w obiegach kotłowych następujące funkcje [6]:

- są wydajnym i skutecznym odleniaczem, zwłaszcza w odniesieniu do

tlenu szczątkowego (pozostającego po odgazowaniu fizycznym),

- pomagają utrzymywać w czystości powierzchnię wymiany ciepła, dzięki czemu przeciwdziałają korozji podstawowej stali czarnej, żeliwa i stali chromowo-niklowych,
- działają jako silny dyspergant, usuwając z kotłów, rurociągów i armatury odłożone osady produktów korozji i kamienia wodnego; przy tym osady te przeprowadzane są w formę koloidalną, czyli płynną, nie stwarzając żadnych zagrożeń dla działania zaworów, automatyki i filtrów,
- powodują tworzenie się cienkiej, izolującej i pasywnej warstewki na powierzchni kotła,
- zapobiegają osadzaniu się kamienia w kotle, nawet przy przekroczeniu zalecanych wartości wody zasilającej,
- w ograniczonym stopniu alkalizują wodę.

Korzystnie kształtuje się aspekt ekonomiczny stosowania preparatów typoszeregu TANIMAR. Przy standardowym dawkowaniu, w zależności od stopnia demineralizacji wody, dawki wynoszą od 10 do 18 ml preparatu na 1 m³ wody uzupełniającej.

Zaęzanie wody w kotle parowym. Wpływ technologii przygotowania wody dodatkowej na ilość odsolin

Woda w kotle parowym podczas ciągłego odbioru pary ulega zasoleniu, gdyż wynoszona z kotła para w normalnych warunkach pracy praktycznie nie zawiera soli. Nadmierna ilość soli wskutek stałej koncentracji soli w wodzie może być przyczyną wytrącania się osadów kamienia kotłowego jak też pienienia się wody w kotle. Pienienie jest niebezpieczne, gdyż może prowadzić do zerwania lustra wody we wskaźnikach poziomu, a przez to do poważnych awarii kotła. Intensywne pienienie może być przyczyną plucia pianą do rurociągów pary, para i woda kotłowa przedostają się do systemu parowego, gdzie sole zawarte w wodzie mogą powodować nawet zniszczenie wyposażenia AKPiA zainstalowanego za kotłem.

W celu niedopuszczenia i wyeliminowania tych groźnych dla kotła zjawisk związanych z nadmierną koncentracją soli w wodzie kotłowej stosowany jest proces odsalania kotła. Odsalanie kotła parowego jest procesem ciągłym i polega na odprowadzaniu obliczonego strumienia wody kotłowej o wysokim przewodnictwie na zewnątrz kotła. Woda jest pobierana bezpośrednio spod jej lustra (ok. 10 cm

poniżej ustalonego poziomu lustra). Odsalanie może być prowadzone w sposób manualny lub automatyczny. Obecnie kotły płomieniowo – płomieniówkowe są wyposażane od momentu zakupu w takie systemy. W automatycznym układzie odsalania zawór spustowy zasolonej wody jest połączony z układem pomiaru przewodnictwa, który oddziaływanie na siłownik otwarcia zaworu odsalania, otwierając lub zamykając zawór stosownie do zasolenia wody w kotle. Regulator automatycznego odsalania realizuje program otwarcia zaworu odsalającego w takim stopniu, aby wartość przewodnictwa wody kotłowej była zbliżona do nastawy wartości zadanej. W przypadku otwierania manualnego zaworu odsalania wymagana jest analiza laboratoryjna przewodnictwa wody w kotle. Najczęściej ten typ odsalania jest obciążony nierównomiernym upustem strumienia wody, a w kotle pojawiają się piki w przewodnictwie wody, co w przypadku nadmiernego odsalania skutkuje również niepotrzebną stratą ciepła.

Odmulanie kotła, którego głównym celem jest usunięcie drobnych osadów z najniższej części kotła nie zastępuje odsalania. Jego celem jest usunięcie drobnych namulów z najniższej części kotła. Przeprowadzane w sposób automatyczny co kilka godzin (najczęściej 2 - 8 godzin) otwarcie zaworu odmulającego na kilka sekund (1,5 - 4 sekundy) wyprowadza co prawda pewne ilości wody kotłowej na zewnątrz, ale jego celem nie jest odsalanie.

Warto dodać jeszcze, że zarówno ciepło odsolin, jak i ciepło odmulin powinno być wykorzystane a ścieki nie powinny trafić do kanalizacji. Szczególnie ciepło odsolin powinno być źródłem ciepła dla podgrzania wody dodatkowej ze stacji uzdatniania przed wprowadzeniem do odgazowywacza [7].

Obliczenie ilości wody, którą trzeba odprowadzić z kotła wraz odsolinami, aby zachować właściwy z normą lub wymaganiami producenta kotła poziom przewodnictwa wody w kotle, można wyznaczyć z poniższego wzoru [7]:

$$A = Q \times S_{zas} / (S_{dop} - S_{zas})$$

gdzie:

- A – strumień objętości odsolin, który należy odprowadzić z kotła w kg/h,
- Q – wydajność kotła w zakresie kg/h,
- S_{zas} – wprowadzana przewodność wody kotłowej μS/cm z wodą zasilającą (mieszanina kondensatu i wody dodatkowej),
- S_{dop} – dopuszczalna przewodność wody kotłowej w μS/cm.

Przykład 1

Kocioł produkuje parę w ilości 10.000 kg/h a woda zasilająca kocioł posiada na wlocie do kotła przewodnictwo 30 $\mu\text{S/cm}$ (kondensat + woda dodatkowa z RO) oraz najwyższe dopuszczalne przewodnictwo wody kotłowej wynosi 1.500 $\mu\text{S/cm}$, zatem konieczny strumień objętości odsalania wyniesie:

$$A = 10.000 \times 30 / (1500 - 30) = 204 \text{ kg/h,}$$

co stanowi 204 : 10.204 x 100% = 1,99 % wody zasilającej do kotła. Zatem, aby kocioł mógł produkować parę w ilości 10.000 kg/h wymagane jest doprowadzenie 10.204 kg/h wody zasilającej.

Przykład 2

Kocioł produkuje parę w ilości 10.000 kg/h a woda zasilająca kocioł posiada na wlocie do kotła przewodnictwo 350 $\mu\text{S/cm}$ (kondensat + woda dodatkowa ze zmiękczaczy) oraz najwyższe dopuszczalne przewodnictwo wody kotłowej wynosi 3.000 $\mu\text{S/cm}$ zatem konieczny strumień objętości odsalania wyniesie:

$$A = 10.000 \times 350 / (3.000 - 350) = 1.321 \text{ kg/h}$$

co stanowi 1.321 : 11.321 x 100% = 11,66% wody zasilającej kocioł. Zatem aby kocioł mógł produkować parę w ilości 10.000 kg/h wymagane jest doprowadzenie 11.321 kg/h wody zasilającej.

Przykład 3

Kocioł produkuje parę w ilości 10.000 kg/h a woda zasilająca kocioł posiada na wlocie do kotła przewodnictwo 520 $\mu\text{S/cm}$ (kondensat + woda dodatkowa ze zmiękczaczy) oraz najwyższe dopuszczalne przewodnictwo wody kotłowej wynosi 3.000 $\mu\text{S/cm}$ konieczny strumień objętości odsalania wyniesie:

$$A = 10.000 \times 520 / (3.000 - 520) = 2096 \text{ kg/h}$$

co stanowi 2.096 : 12.096 x 100% = 17,3 % wody zasilającej kocioł. Zatem aby kocioł mógł produkować parę w ilości 10.000 kg/h wymagane jest doprowadzenie 12.096 kg/h wody zasilającej.

W obiegach kotłowych nisko i średnio prężnych źródłem soli wprowadzanych z wodą dodatkową do kotła jest woda zmiękczona. Szybkość zagęszczenia soli w wodzie kotłowej zależy od:

- ilości soli w wodzie zasilającej, wyrażonej np. jako przewodność właściwa,

- stosunku godzinowej wydajności kotła do objętości jego odparownika,
- ilości wprowadzanych do wody zasilającej kocioł chemicznych środków korekcyjnych.

Woda zasilająca, jak zaznaczono wcześniej, jest sumą wody dodatkowej ze stacji uzdatniania wody i zwróconego z systemu kondensatu, stąd też istotne jest poznanie wzajemnych relacji między tymi wielkościami na ich wpływ na wielkość strumienia odsolin lub na %owy udział odsolin w wodzie zasilającej w zależności od wpływu obu wielkości na ten wskaźnik. Dla zobrazowania tych zależności porównano wpływ zastosowanej technologii przygotowania wody dodatkowej i %owego udziału kondensatu parowego w wodzie zasilającej kocioł parowy, na wymagany stopień odsalania. Ponadto wyliczono czas T, po którym nastąpi zrzut odsolin w ilości równej objętości odparownika. W tym przypadku założono objętość odparownika 15 m³. Intensywność odsalania podyktowana jest potrzebą utrzymania maksymalnych parametrów wody kotłowej, zgodnych z wymogami producenta. W analizowanym przypadku parametrem krytycznym, definiującym górną granicę zasolenia wody kotłowej, jest przyjęte przewodnictwo wody o wartości 3.000 $\mu\text{S/cm}$.

Założenia do obliczeń:

- kocioł parowy prowadzony ze względu na dopuszczalną wartość przewodnictwa $S_{\text{dop}} = 3.000 \mu\text{S/cm}$, kocioł jest automatycznie odsalany,
- przewodnictwo wody zasilającej (po zagotowaniu – usunięcie CO₂), S_{zas} w $\mu\text{S/cm}$,
- %owy udział kondensatu w wodzie zasilającej kocioł K w [%],
- objętość odparownika $V = 15 \text{ m}^3$,
- wydajność kotła $Q = 10.000 \text{ [kg pary/h]}$,
- stopień odsalania O wyrażony % można zapisać równaniem:

$$O = S_{\text{zas}} / S_{\text{dop}} \times (100 - K) \text{ [%]}$$

- natomiast częstotliwość wymiany wody kotłowej ze względu na odsalanie zapisać równaniem:

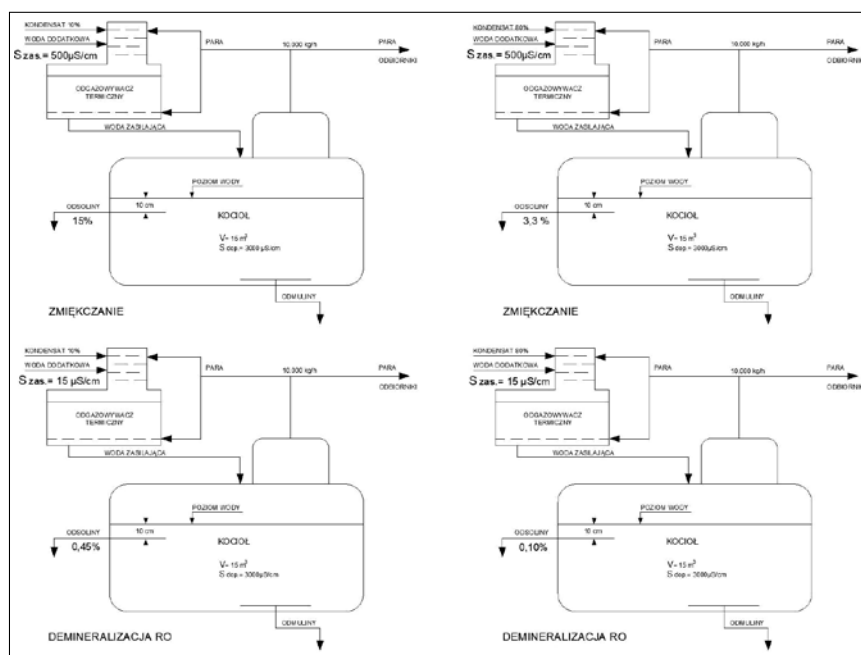
$$T = 100 / O \times V / Q \text{ [h]}$$

Obliczenia wykonano dla O i T, przyjmując zwrot kondensatu: 10%, 50% i 80%. Założenia i wyliczenia zamieszczono w tabeli 1.

Dane zestawione w tabeli jednoznacznie wskazują na oszczędności płynące z zastosowania techniki demineralizacji wody uzupełniającej kocioł. Uzyskuje się wówczas najmniejsze straty wody i ciepła

Tabela 1. Eksploatacyjne parametry pracy kotła parowego w aspekcie stopnia odsalania

Technologia uzdatniania wody dodatkowej	S_{dop} $\mu\text{S/cm}$	S_{zas} $\mu\text{S/cm}$	O [%] dla kolejnych K			T [h] dla kolejnych K		
			10 %	50 %	80 %	10 %	50 %	80 %
Zmiękczenie	3.000	500	15	8,3	3,3	10	18	45,5
Dekarbonizacja	3.000	250	7,5	4,2	1,2	20	35,7	125
Demineralizacja RO	3.000	15	0,45	0,25	0,10	333	600	1.500

**Rys. 8**

Graficzna ilustracja zależności stopnia odsalania od jakości wody zasilającej wg tabeli 1

związane z odsalaniem kotła. Ilustrację danych liczbowych z tabeli 1 przedstawił graficznie na rysunku 8.

Kryteria doboru stacji uzdatniania wody

Zapotrzebowanie na parę zespołu kotłów czy też kotła wynika z:

- zapotrzebowania poszczególnych odbiorników na parę grzewczą lub technologiczną,
- zapotrzebowania na potrzeby własne kotłowni,
- strat pary na odsalanie i odmulanie,
- strat ciepła na przesyle pary rurociągiem.

Zapotrzebowanie pary na potrzeby własne kotłowni, wg niektórych źródeł może sięgać 6 – 16% pary wytwarzanej przez kocioł [8]. To zapotrzebowanie na parę wynika z konieczności podgrzewania zimnej wody dodatkowej przed wprowadzeniem do odgazowywacza oraz zapotrzebowania pary na usunięcie gazów w samym odgazowywaczu z wody zasilającej kocioł.

Równie duże może być zapotrzebowanie na wodę i ciepło związane z odsalaniem kotła.

Jak wykazano wcześniej w artykule na podstawie zamieszczonych 3 przykładów oraz tabeli 1 straty odsalania mogą wynosić od kilku do kilkunastu % wprowadzanej wody zasilającej do kotła a wszystko zależy od jakości wody dodatkowej tzn. od stopnia jej odsolenia oraz od % udziału zwracanego z systemu parowego kondensatu w produkowanej przez kocioł parze. Zarówno wyniki obliczeń podane w przykładach, jak też w tabeli 1 jednoznacznie wskazują na możliwe oszczędności płynące z zastosowania instalacji membranowej RO. Użytkuje się wówczas najmniejsze straty odsalania, a przez to najniższe straty wody i ciepła. Metoda RO przygotowania wody pod względem kosztów eksploatacyjnych jest bezkonkurencyjna, w stosunku do metod jonitowego przygotowania wody na cele uzupełniania kondensatu dla kotłów parowych, szczególnie do zmiękczenia wody. Natomiast uzdatnianie wody w oparciu o metodę dekarbonizacji zmniejsza ilość odsolin dla tych samych parametrów wody surowej i tych samych warunków pracy kotła około o połowę w stosunku do instalacji zmiękczenia, ale ze względów ekologicznych i bezpieczeństwa pracy obsługi kotłowni, metoda ta nie jest już rozważana w budowie nowych stacji dla potrzeb kotłowni.

Zużycie pary na potrzeby odsalania może być znacznie zredukowane poprzez

eksploatację kotła z wodą dodatkową odsoloną, wytwarzaną w instalacjach odwróconej osmozy.

Nie można też jednoznacznie skreślić z wyboru instalacji zmiękczenia do produkcji wody dodatkowej. Zdaniem autora, na podstawie wykonanych obliczeń, ale też własnych doświadczeń praktycznych w budowie i potem serwisowaniu instalacji zmiękczaczy, mogą być one przydatne przy dużym zwrocie kondensatu, tam gdzie zwrot kondensatu wynosi ponad 80% produkowanej pary i zdecydowanie tam, gdzie zwrot kondensatu będzie wynosił ponad 90%, czyli wszędzie tam, gdzie niskie jest uzupełnianie wodą dodatkową kondensatu. Wówczas co prawda, mamy wyższy strumień odsalania niż by zasilano kocioł z instalacji RO, ale koszt inwestycyjny zmiękczacza jest kilkakrotnie niższy, aniżeli koszt dla instalacji RO, co jest nie bez znaczenia. Podobne rozumowanie przedstawia Bujak w opracowaniu [9], gdzie na podstawie wyliczeń efektywności cieplnej kotła twierdzi, że w przypadku małych ubytków pary i kondensatu 5-10% w systemach parowych, bardziej opłacalne z punktu techniczno-ekonomicznego może być zamontowanie instalacji zmiękczenia wody niż instalacji demineralizacji wody RO. Dotyczy to zarówno kotłów produkujących parę nasyconą, jak i przegrzaną.

Podsumowanie

Myślą przewodnią, którą kierował się autor w przedstawieniu niniejszego materiału było wskazanie przesłanek technologiczno-ekonomicznych, którymi powinni kierować się inwestorzy: zarząd i specjaliści działów technicznych przy uruchamianiu inwestycji zakupu kotłów parowych nisko i średnicieściennych. Powinni wziąć pod uwagę, oprócz ceny zakupu kotła, także sposób zasilania wodą kotła parowego i stopień demineralizacji wody dla obniżenia kosztów eksploatacyjnych kotłowni, szczególnie w czasach, gdy ceny wody i energii rosną. Dobór odpowiedniej stacji demineralizacji wody metodą odwróconej osmozy RO może zagwarantować niski stopień odsalania kotła. Niski stopień odsalania gwarantuje także wysoki zwrot kondensatu powyżej 80% produkcji pary, co pozwala w takim przypadku na zastosowanie zmiękczaczy do uzdatniania wody dodatkowej w cenie zakupu kilka razy niższej od ceny instalacji odwróconej osmozy.

Niejednokrotne doświadczenia uzyskane przez autora wskazują, że inwestor odpowiednio poinformowany o wszyst-

kich aspektach związanych z wyborem technologii uzdatniania wody decyduje się na wybór technologii inwestycyjnie droższej, zaawansowanej technicznie – o niskich kosztach eksploatacyjnych – za to gwarantującej długą żywotność kotłów bez ich chemicznego płukania.

Stąd też niezmiernie ważną jest obiektywna edukacja energetyków, aby w dużej liczbie składanych ofert umieli wybrać te firmy, których technologie są „naprawdę najtańsze” w długim czasie pracy kotła. Nie należy kierować się pozornie niską ceną oferowanych technologii uzdatniania, które często się do tego celu nie nadają, a jedyną ich zaletą jest niska cena inwestycyjna. Niestety, cena inwestycji jest najczęściej proporcjonalna do jakości wody dostarczanej do kotła, a wybór najniższej ceny prowadzić może w przyszłości do poniesienia nakładów na remonty (np. wymiana skorodowanego lub zakamienionego podgrzewacza w kotle, chemiczna naprawa kotła), których na etapie zakupu kotła i stacji uzdatniania wody nikt najczęściej nie szacuje.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Marjanowski J., Osady i korozja w kotłach parowych, Wymagania jakości wody zasilającej i kotłowej, Instal, Nr 9/2020, str.21-24 DOI 10.36119/15.2020.9.3
- [2] Marjanowski J., Książek K., Wykorzystanie technik membranowych do uzdatniania wód pitnych i technicznych w przemyśle mleczarskim. XIX Konferencja Naukowo-Techniczna. Problemy gospodarką energią i środowiskiem w mleczarstwie. Licheń, 4 – 6 września 2000, str. 53 – 56.
- [3] Bodzek M., Konieczny K., Wykorzystanie procesów membranowych w uzdatnianiu wody, Wydanie I, Oficyna Wydawnicza Projprzem – EKO, Bydgoszcz 2005, str. 216-218.
- [4] Marjanowski J., Zander Z., Olander K., Nalikowski A., Efektywność wykorzystania ciepłych i gorących „krowich wód” do zasilania kotłów parowych, Przegląd Mleczarski, Nr 9/2016, str. 29-36.
- [5] Marjanowski, J. Ostrowski, S. Hniatuk, Wpływ parametrów wody sieciowej na koszty funkcjonowania systemu ciepłowniczego, Część I – III, Ciepłownictwo Nr 1, 2,3 /2000.
- [6] Konieczny K., Koszorz M., Marjanowski J., Tanżyna S.: Badanie skuteczności chemicznej korekty wody stosowanej do uzupełniania obiegu ciepłowniczego. Instal Nr 12/2006, str. 12.
- [7] Szałucki K., Metodyka obliczeń opłacalności zastosowania systemu odzysku ciepła zawartego w odsolinach odprowadzonych z kotła parowego. http://www.szalucki.pl/2014/ARTYKULY/Odzysk_ciepła_odsolin.pdf
- [8] Loos-Bosch. Kotły przemysłowe. Podręcznik projektanta, str. 43. <https://www.linkedin.com/company/loos-kotly-przemyslowe-bosch>
- [9] Bujak J., Bałdyga M., Wpływ odsalania kotła parowego na jego efektywność cieplną, Rynek Instalacyjny, nr 10/2007, str. 42 – 46