Dobór odgazowywacza i zbiornika wody zasilającej.

Krzysztof Szałucki

1. Wstęp

W większości przypadków odgazowywacz termiczny jest zabudowany na lub wbudowany do zbiornika wody zasilającej i oba te elementy funkcjonalnie tworzą jedno urządzenie. Przystępując do ich doboru konieczne jest zgromadzenie szeregu informacji związanych z pracą całej kotłowni, a często również całego systemu pary i kondensatu.

Absolutnie minimalny zakres wymaganych informacji można określić w następujących punktach:

- wymagania w zakresie gwarantowanego poziomu ilości rozpuszczonego tlenu [ppm] w wodzie zasilającej,
- wydajność [kg/h] systemu odgazowywacza (minimum to łączne zapotrzebowanie na wodę zasilającą kotły obsługiwane przez projektowany odgazowywacz),
- minimalny, średni i maksymalny [%] zwrot kondensatu z systemu wraz ze średnią temperaturą tego kondensatu,
- temperatura wody uzupełniającej [°C] (szczególnie w przypadku, gdy planowany jest podgrzew wody uzupełniającej),
- ciśnienie pary grzewczej [barg] doprowadzanej do odgazowywacza (w przypadku stosowania pary przegrzanej również temperatura pary [°C]),
- uzgodnienie schematu technologicznego zespołu odgazowywacz termiczny i zbiornik wody zasilającej,
- określenie możliwości wykorzystania pary wtórnej (z rozprężania odsolin lub kondensatu) w procesie odgazowywania,
- inne uwagi dotyczące wymagań w zakresie stosowanych systemów regulacji, napędów, kontroli, wizualizacji itp.

Po zgromadzeniu powyższych danych można przystąpić do procedury doboru odgazowywacza i zbiornika wody zasilającej korzystając ze wskazówek zawartych poniżej oraz w oparciu o własne doświadczenia.

2. Wymagana wydajność odgazowywacza i wielkość zbiornika wody zasilającej

Wielkości te wyznaczamy zależnie od wybranego systemu odgazowania termicznego.

2.1 System odgazowywacza ociekowego lub kaskadowego

Wymagana wydajność odgazowywacza ociekowego lub kaskadowego uzależniona jest przede wszystkim od dwóch parametrów roboczych: natężenia przepływu wody do odgazowywacza oraz jej średniej temperatury.

Minimalną ilość wody, która musi zostać odgazowana na potrzeby kotła lub kotłów można wyznaczyć w oparciu o wzór stosowany również dla wyznaczenia strumienia wody zasilającej doprowadzanej do kotła:

$$V_{odg}^{\min} = 1{,}1 \cdot \frac{m_{kotla} + m_{odsolin} + m_{odmulin}}{\rho} \quad [\mathrm{m^3/h}] \qquad (1)$$

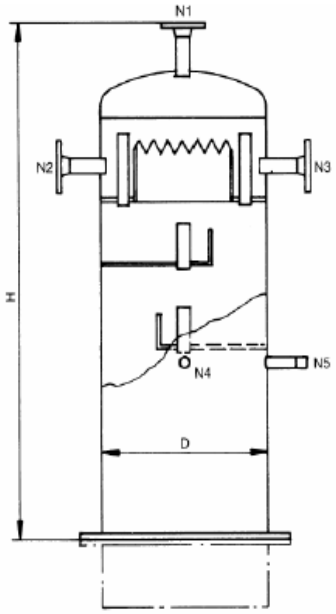
$m_{kotła}$ – maksymalna wydajność kotła [kg/h]
$m_{odsolin}$ – przepływ masowy odsolin odprowadzanych z kotła [kg/h]
$m_{odmulin}$ – przepływ masowy odmulin odprowadzanych z kotła [kg/h]
ρ - gęstość wody w warunkach panujących w odgazowywaczu [kg/m^3]

Najkorzystniejsze, ale zarazem wymagające pełnych informacji o systemie odgazowywania, jest wyznaczenie rzeczywistego dopływu wody do odgazowywacza (V_{odg}) w oparciu o informacje na temat wydajności zastosowanych pomp i zaworów regulujących dopływ wody uzupełniającej i kondensatu do odgazowywacza.

Średnią temperaturę wody doprowadzanej do odgazowywacza możemy określić w oparciu o wzór (2) i dane na temat szacowanej wielkości zwrotu kondensatu oraz ilości wody uzupełniającej doprowadzanej do odgazowywacza.

$$t_{śr} = \frac{\%_{kondensatu} \cdot t_{kondensatu} + \%_{woda,uzup.} \cdot t_{wody,uzup.}}{100\%} \quad [°C] \qquad (2)$$

Dysponując danymi V_{odg} i $t_{śr}$ najkorzystniejszym jest odwołanie się do doboru zamieszczonego w karcie katalogowej producenta odgazowywacza. Producent zazwyczaj zamieszcza dane – przykład (producent GESTRA): rysunek 1 - o maksymalnym natężeniu przepływu V_{odg} [m3/h] dla danej wielkości kolumny odgazowywacza przy założeniu, że $t_{śr}$ wody na wejściu do odgazowywacza jest wyższa od dopuszczalnej temperatury średniej minimalnej.



Typ		250	350	450	550	650	800
Wydatek	m^3/h	0.5-1.6	1.7-3.0	3.1-5.0	5.1-8.0	8.1-11.0	11.1-15.0
D	mm	250	350	450	550	650	800
H	mm	1050	1260	1280	1300	1820	1850
Przyłącze zbiornika zasilającego	mm	250	350	450	550	650	800
Przyłącze N1	mm	15	20	25	32	32	40
Masa	kg	55	75	110	160	220	360

Typ		900	1000	1200	1400	1600	1800
Wydatek	m^3/h	15.1-19.0	19.2-24.0	24.1-33.0	33.1-40.0	40.1-50.0	50.1-80.0
D	mm	900	1000	1200	1400	1600	1800
H	mm	1870	1880	1920	2450	2500	2590
Przyłącze zbiornika zasilającego	mm	900	1000	800	1000	1000	1000
Przyłącze N1	mm	50	50	65	65	80	80
Masa	kg	430	475	660	970	1340	1600

Rysunek 1. Dobór wielkości (typ) kolumny odgazowywacza termicznego zależnie od natężenia przepływu wody (wydatek) dla średniej temperatury minimalnej powyżej 55-60°C [GESTRA]

Większość produkowanych w kraju kolumn odgazowywaczy wymaga, aby temperatura średnia wody doprowadzanej do kolumny odgazowywacza była wyższa niż 70-80°C. W przypadku mniejszych wartości konieczne jest zastosowanie odpowiedniego regulowanego systemu podgrzewu wstępnego wody tak, aby wartość minimalna temperatury była zagwarantowana. W przypadku kolumn odgazowywaczy produkcji GESTRA wymagana temperatura średnia powinna być wyższa niż 55-60°C, jeżeli jest niższa to można zastosować większą kolumnę (następną w tabeli doboru – rysunek 1) lub zewnętrzny system podgrzewu wody.

W przypadku braku danych dla przeprowadzenia doboru w karcie katalogowej producenta, można posłużyć się wzorem (3), który umożliwia określenie średnicy zewnętrznej kolumny odgazowywacza termicznego

$$d_{kolumny} = 145{,}7 \cdot \sqrt{\frac{V_{odg}}{w_{odg}}} \quad [mm] \qquad (3)$$

V_{odg} [m3/h] – wg. wzoru (8)
w_{odg} [m/min] – prędkość przepływu wody w kolumnie odgazowywacza

Prędkość przepływu wody w kolumnach odgazowywaczy ociekowych i kaskadowych przyjmowana jest w zakresie 0,4 do 0,6 m/min (czasami do 0,8 m/min). Jest to wartość zalecana, ale jeżeli to możliwe zawsze należy się kierować zaleceniami podanymi przez producenta (szczególnie w przypadku rozwiązań nietypowych odgazowywaczy). Po określeniu średnicy kolumny odgazowywacza zgodnie ze wzorem (3) dobieramy, z zakresu wielkości podanego w karcie katalogowej, pierwszą kolumnę o średnicy większej niż $d_{kolumny}$.

2.2 System odgazowywacza dyszowego

W przypadku systemu dyszowego konieczne jest dokładne określenie przepływów kondensatu pompowanego i wody uzupełniającej oraz ciśnień tych czynników. Dysze wtryskowe o stałym przekroju, szczególnie przy niewielkiej różnicy ciśnienia dyspozycyjnego na dyszy, mają bardzo mały zakres regulacyjności. Przy doborze dyszy wtryskowej o zbyt dużej wydajności uzyskuje się niezadowalający stopień rozpylenia wody w poduszce parowej, co powoduje niedostateczne podgrzanie i odgazowanie wtryśniętego kondensatu lub wody uzupełniającej. Dobranie zbyt małej dyszy wtryskowej będzie przyczyną niedostatecznej podaży wody do zbiornika i może powodować powstanie problemów związanych z okresowym brakiem wody zasilającej kotły.

Większość konstrukcji odgazowywaczy dyszowych z dyszami o stałym przekroju wyposażona jest w system dwóch dysz. Jedna z dysz odpowiada za rozpylenie kondensatu pompowanego, druga zaś za rozpylenie wody uzupełniającej. Dysze te są różne i nie należy ich mylić. Kondensaty ciśnieniowe, nie zawierające rozpuszczonych w nich gazów, wprowadzane są bezpośrednio do zbiornika z pominięciem układu dyszowego.

Dla poprawnej pracy dyszy wtryskowej zazwyczaj konieczne jest zapewnienie ciśnienia różnicowego na dyszy w wysokości minimalnej 0,5-1,0 bar. Oznacza to, że wysokość podnoszenia pompy kondensatu musi być o 0,5-1,0 bar większa niż w przypadku odgazowywaczy ociekowych lub kaskadowych.

Poprawny dobór dyszy wtryskowej kondensatu wymaga znajomości charakterystyki pompy kondensatu oraz oporów przepływu w instalacji między pompą, a dyszą wtryskową. Dla doboru dyszy wtryskowej wody uzupełniającej konieczna jest znajomość ciśnienia wody uzupełniającej, współczynnika przepływu zaworu elektromagnetycznego i ewentualnych oporów instalacji. Na bazie powyższych informacji konieczne jest określenie dostępnego ciśnienia różnicowego na dyszach i wymaganego przepływu wody przez każdą z dysz wtryskowych.

2.3 Wielkość zbiornika wody zasilającej

Zalecana wielkość zbiornika wody zasilającej uzależniona jest od szeregu aspektów związanych z zastosowaną technologią kotłowni, wielkością zwrotu kondensatu, wydajnością stacji uzdatniania wody, charakterystyką odbiorów pary, a także z indywidualnymi uwarunkowaniami związanymi z produkcją pary i podażą wody.

Zbiornik wody zasilającej jest podstawowym, ale najczęściej nie jedynym rezerwuarem wody dla pracujących kotłów parowych. Dobierając jego wielkość należy określić przede wszystkim jakiego czasu pracy kotłów oczekujemy na bazie wody zmagazynowanej w zbiorniku, bez podawania wody uzupełniającej i kondensatu (np. z powodu awarii).

Spotyka się zbiorniki wody zasilającej zapewniające nagromadzenie wody w ilości zapewniającej pracę kotłów z pełną wydajnością od kilkunastu minut do kilku godzin po przerwaniu dopływu wody uzupełniającej i kondensatu.

Najmniejsze zapasy wody gromadzonej w zbiorniku wody zasilającej spotyka się w energetyce i ciepłownictwie ze względu na stosunkowo dużą stabilność pracy turbiny energetycznej lub ciepłowniczej lub wymienników ciepłowniczych oraz duże i pewne zwroty kondensatu.

W systemach przemysłowych obserwowane jest stosowanie zbiorników o pojemności zapewniającej od 30 minut do 1 godziny pracy kotła lub kotłów z pełną wydajnością przy braku dopływu wody uzupełniającej i kondensatu.

Zbiornik wody zasilającej powinien być większy jeżeli:

- przerwanie ciągłości produkcji pary do celów technologicznych może być przyczyną bardzo poważnych i kosztownych przestojów w produkcji,
- zastosowane są stacje uzdatniania wody nie zapewniające pełnego dopływu wody uzupełniającej w warunkach braku lub silnie ograniczonego zwrotu kondensatu,
- stosowane są zbiorniki kondensatu wyposażone w tylko jedną pompę przetłaczającą kondensat,
- w systemie pary i kondensatu nie przewidziano zwrotu kondensatu,
- w systemie pary i kondensatu nie przewidziano pośrednich zbiorników kondensatu tj. zbiornik wody zasilającej jest równocześnie swojego rodzaju zbiornikiem kondensatu,
- w systemie występuje bardzo duża cykliczność procesu technologicznego oznaczająca długie przestoje w zwrocie kondensatu, a następnie intensywne dopływy kondensatu (w takich przypadkach konieczne jest zapewnienie bufora objętości w zbiorniku wody zasilającej na cyklicznie spływający kondensat,
- przewidywany jest dłuższy czas usuwania awarii w doprowadzaniu wody uzupełniającej (np. na skutek braku własnych brygad remontowych).

Zbiornik wody zasilającej może być mniejszy jeżeli:

- mamy do czynienia z bardzo stabilnym pod względem zużycia pary procesem technologicznym (małe wahania wydajności),
- uzyskujemy duże zwroty kondensatu, szczególnie w przypadku zastosowania pośrednich zbiorników kondensatu z dwiema pompami kondensatu przy każdym zbiorniku (układ pracy: pompa rezerwowa załączana jest w momencie wykrycia przez automatykę awarii pompy w ruchu), kiedy to można przyjąć, iż zbiornik kondensatu jest buforem zbiornika wody zasilającej,
- stacja uzdatniania wody jest wyposażona w zbiorniki magazynujące wodę uzdatnioną wówczas przy systemie dwu pompowym (układ pracy: pompa rezerwowa załączana jest w momencie wykrycia przez automatykę awarii pompy w ruchu) można przyjąć, iż zbiorniki te są buforami zbiornika wody zasilającej,
- proces technologiczny w przypadku przerwania dopływu pary nie będzie narażony na wysokie koszty przestoju lub wadliwej produkcji,
- inwestor dysponuje ograniczonymi funduszami inwestycyjnymi i godzi się na możliwość powstania pewnych problemów ruchowych.

W ostatnich latach obserwowane jest stosowanie zbiorników o mniejszej pojemności (rezerwa 20-30 minutowa) ze względu na pogoń za redukcją kosztów inwestycyjnych oraz ułatwieniami montażowo-instalacyjnymi. Nie powinno się stosować takich rozwiązań bez właściwej analizy przeprowadzonej w oparciu o powyższe uwagi dla określenia wymaganej pojemności wodnej.

Analizując czas pracy kotła w oparciu o pojemność wodną zbiornika należy pamiętać o różnicy pomiędzy całkowitą pojemnością zbiornika wody zasilającej a jego pojemnością użytkową. Pojemność użytkowa to ilość wody w zbiorniku, którą rzeczywiście możemy wykorzystać. Pojemność ta ograniczona jest od góry poziomem przelewu zbiornika (lub przez automatykę systemu napełniania), a od dołu poziomem wyłączenia pomp kotła lub kotłów dla zabezpieczenia ich przed suchobiegiem. Zależnie od metody odgazowania i konstrukcji zbiornika wody zasilającej jego pojemność użytkowa wynosi od 60% do 90% jego pojemności całkowitej.

Mniejsze wielkości spotykane są w przypadku systemów odgazowywaczy umieszczonych wewnątrz zbiornika wody zasilającej (np. odgazowywacze dyszowe) i wymagających stosunkowo dużej przestrzeni parowej. Większe pojemności użytkowe uzyskiwane są w przypadku stosowania zewnętrznych względem zbiornika wody zasilającej systemów odgazowania termicznego (np. kolumna odgazowywacza termicznego).

Jeżeli przeprowadzimy analizę w oparciu o pojemność całkowitą zbiornika wody zasilającej, to należy koniecznie pamiętać, iż rzeczywisty czas pracy kotła czy kotłów z pełną wydajnością po awarii zasilania zbiornika wody zasilającej wodą uzupełniającą i kondensatem będzie mniejszy proporcjonalnie do stosunku pojemności użytecznej i całkowitej tego zbiornika.

3. Wybór typu odgazowywacza

Wybór typu odgazowywacza jest zawsze zagadnieniem bardzo indywidualnym, które obejmuje zarówno bardzo istotne własności ruchowe urządzenia, jak również indywidualne przyzwyczajenia, przekonania i oczekiwania użytkownika. Pozostawiając sprawy związane z indywidualnym podejściem użytkownika, podsumujmy najważniejsze punkty- tabela 1, od których uzależniony powinien być wybór typu odgazowywacza (dla uproszczenia do rozważań przyjęte zostały najczęściej stosowane w przemyśle typy odgazowywaczy: odgazowywacz atmosferyczny, odgazowywacz ociekowy, odgazowywacz kaskadowy, odgazowywacz z dyszami o stałym przekroju).

Informacje zawarte w tabeli 1 stanowią pewnego rodzaju przeciętną z tego, co oferują producenci odgazowywaczy, ale może się zdarzyć, iż niektóre z kryteriów dla danego typu odgazowywacza będą miały w rzeczywistości całkiem inną ocenę (lepszą lub gorszą!!!). Należy również pamiętać o utrzymaniu zawartości rozpuszczonego tlenu na minimalnym poziomie za odgazowywaczem, czyli w zbiorniku wody zasilającej przez zastosowanie takiej konstrukcji zbiornika wody zasilającej, która zapewnia warunki nasycenia w całej objętości zbiornika.

Kryterium ruchowe	**Ocena**			
	Odgazowywacz atmosferyczny	**Odgazowywacz ociekowy (tace otworowane)**	**Odgazowywacz kaskadowy**	**Odgazowywacz z dyszami o stałym przekroju**
zawartość rozpuszczonego tlenu w wodzie po odgazowaniu	1-2 ppm	0,02 ppm	<0,02 ppm	<0,02 ppm
wielkość powierzchni wymiany ciepła para/woda	b. mała	średnia	duża	duża
nadciśnienie i warunki nasycenia w odgazowywaczu	nie	tak	tak	tak
minimalna temperatura średnia wody podawanej na odgazowywacz	10°C	70°C	55°C	60°C
problemy w przypadku braku dokładnych danych na temat zwrotu kondensatu	nie	nie	nie	tak
możliwa regulacja ciągła dopływu wody uzupełniającej	tak	tak	tak	nie
problemy budowlane przy ograniczonej wysokości budynku kotłowni	nie	tak	tak	nie
zastosowanie ograniczone dla kotłów o łącznej wydajności do	3,0 t/h	brak	brak	10-16 t/h
konieczność stosowania czynników chemicznych wiążących tlen / tworzących film antykorozyjny	tak	nie*)	nie*)	nie*)
*) nie jest konieczne, ale zalecane				

Tabela 1. Porównanie najczęściej występujących typów odgazowywaczy termicznych

Krzysztof Szałucki
tel. kom. **0-602614535**
e-mail: **info@szalucki.pl**
www.szalucki.pl