

Zmiany położenia punktów przełączania w układzie elektrodowej regulacji poziomu wody w kotłach parowych przy zmianach stanu ruchowego kotłów.

Krzysztof Szałucki

1. Wprowadzenie.

Podczas eksploatacji kotła parowego bardzo często obserwowane jest zjawisko zmiany położenia punktów przełączania elektrodowych układów regulacji poziomu wody i sygnalizacji stanów alarmowych niskiego i wysokiego poziomu wody w stosunku do ich pierwotnej nastawy. W celu wyjaśnienia tego zjawiska konieczna jest między innymi analiza procedury ustalania punktów przełączeń.

Ustalanie punktów przełączeń często przeprowadzane jest po napełnieniu kotła (rozprężonego do ciśnienia atmosferycznego) wodą zasilającą, aż do osiągnięcia przez lustro wody odpowiednich poziomów odpowiadających punktom przełączeń zaznaczonym na wodowskazie przykotłowym. W taki sposób można ustalić długość elektrod przewodnościowych lub położenie odpowiednich punktów przełączeń na elektrodach pojemnościowych.

Po doprowadzeniu kotła do parametrów roboczych okazuje się, że w trakcie obserwacji zmian poziomu wody w wodowskazie przykotłowym podczas pracy kotła przy zmiennym obciążeniu ruchowym, tak ustalone punkty przełączeń znacząco zmieniają swoje położenie (uaktywnienie następuje przy innych niż ustalone poziomach).

Zjawisko to ma charakter złożony. Wielkość zmian zależna jest od wpływu poszczególnych zjawisk składowych, które z kolei są funkcją warunków eksploatacyjnych bądź konstrukcyjnych kotłów parowych.

2. Wydłużenie termiczne prętów elektrodowych.

Obliczenia możliwego wydłużenia termicznego prętów elektrod pomiarowych podczas zmiany parametrów pracy kotła od stanu zimnego do stanu gorącego dla typowych ciśnień roboczych (i odpowiadających im temperatur nasycenia) zostały zestawione w tabeli 1.

Przedstawione w tabeli 1 wartości wydłużenia pręta elektrody pomiarowej na skutek wzrostu temperatury określają w sposób jednoznaczny, że wpływ termicznego wydłużenia prętów elektrodowych na zmianę położenia punktów przełączeń jest praktycznie niemierzalny (na drodze wzrokowego porównania poziomu obserwowanego w wodowskazie przykotłowym z sygnalizacją osiągnięcia odpowiednich punktów przełączeń).

Nadciśnienie w kotle parowym	barg	1	4	6	8	10	12	16	20	32
Odpowiednio temperatura nasycenia t_s	° C	120	151	164	175	183	191	203	214	238
Wydłużenie pręta elektrody na skutek wzrostu temperatury o $\Delta T = t_s - 20^\circ \text{C}$	mm	1,8	2,3	2,5	2,7	2,9	3,0	3,2	3,4	3,8

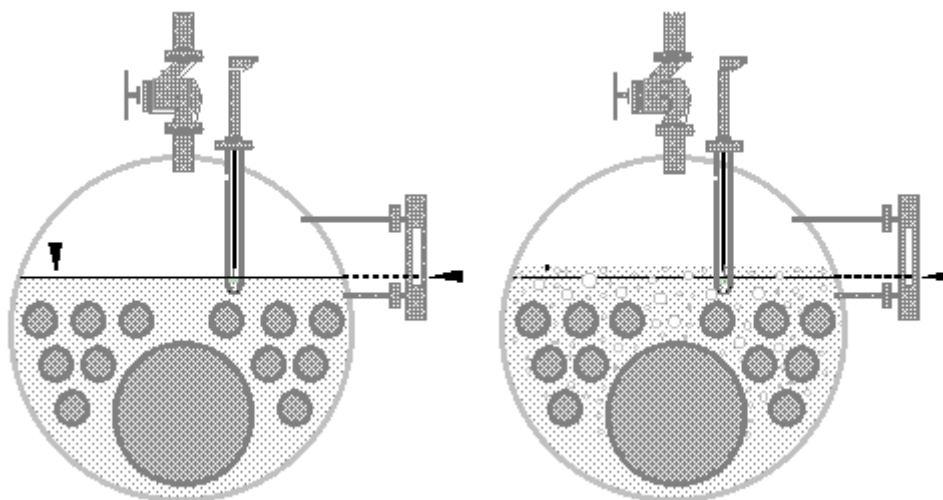
Przy założeniach: długość pręta elektrody 1000mm, materiał pręta elektrody 1.4571 lub 1.4401 (współczynnik wydłużalności termicznej $\alpha = 17,5 \times 10^{-6}$)

Tabela 1. Wyniki obliczeń wydłużenia prętów elektrodowych dla typowych ciśnień roboczych (i odpowiadających im temperatur nasycenia).

Przyczyn znaczących zmian położenia punktów przełączeń należy szukać wśród innych zjawisk występujących podczas pracy kotła pod obciążeniem.

3. Wzburzenie powierzchni lustra wody.

Obserwując poziom wody w kotle w stanie zimnym bez obciążenia (rysunek 1, kocioł z lewej strony) można stwierdzić stabilność lustra wody na całej powierzchni oraz dokładne odwzorowanie poziomu wody wewnątrz walczaka kotła w zewnętrznych wodowskazach przykotłowych.



Kocioł parowy bez obciążenia.

Kocioł parowy pod obciążeniem.

Rysunek 1. Zmiana położenia punktu przełączenia na skutek wzburzenia powierzchni lustra wody [1].

W kotle parowym pracującym pod obciążeniem (rysunek 1, kocioł z prawej strony) obserwuje się, szczególnie w obrębie powierzchni ogrzewalnych, powstawanie dużej ilości pęcherzy parowych, które przemieszczają się pod wpływem siły wyporu hydrostatycznego w kierunku przestrzeni parowej. Na swojej drodze przez słup wody pęcherze podlegają stałej ekspansji objętościowej.

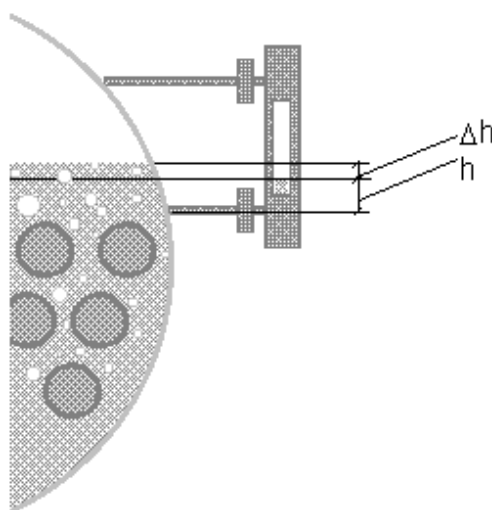
Dużej objętości pęcherze parowe przebijając się przez lustro wody powodują, że powierzchnia lustra wody nie jest gładką płaszczyzną (powierzchnia lustra wody ulega wzburzeniu). Ma ona podobny wygląd, lecz w innej skali, do powierzchni wody wrzącej w naczyniu kuchennym.

Wzburzenie powierzchni lustra wody prowadzi do wzrostu poziomu wody wewnątrz kotła, lecz wzrost ten nie jest wykrywany w zamontowanych na zewnątrz kotła wodowskazach ze względu na efekt tłumiący przewodów łączących wodowskaz z walczakiem kotła. Zjawisko to prowadzi do wystąpienia różnicy między wskazaniami wodowskazów, a zabudowanymi wewnątrz kotła elementami sygnalizacji niskiego poziomu i regulacji poziomu wody w kotle. W praktyce operator kotła może odnieść wrażenie, że sygnalizacja poziomu niskiego uruchamiana jest dopiero po zejściu poziomu wody poniżej nastawionego poziomu niskiego alarmu.

Zjawisko to może ulec jeszcze większemu nasileniu, jeżeli w kotle dojdzie do wytworzenia dodatkowej ilości pary z rozprężania (np. na skutek wzrostu obciążenia i spadku ciśnienia w kotle) powodującej jeszcze silniejsze wzburzenie powierzchni lustra wody.

4. Błąd wskazania wodowskazu przykotłowego.

Błąd wskazań wodowskazu przykotłowego bezpośrednio połączonego z przestrzenią wodną i parową w walczaku kotła spowodowany jest różnicą objętości właściwej wody w walczaku kotła i objętości właściwej wody w szkłe wodowskazowym.



Rysunek 2. Błąd wskazania wodowskazu przykotłowego.

Zróznicowanie objętości właściwych w walczaku i szkłe wodowskazowym kotła spowodowane jest różnicą temperatur. Wewnątrz walczaka kotła parowego panuje temperatura nasycenia, w szkłe wodowskazowym temperatura niższa zależna od stopnia wymiany ciepła z otoczeniem. Objętość właściwa wody w walczaku kotła jest większa od objętości właściwej wody w szkłe wodowskazowym, w związku z tym poziom wody w szkłe wodowskazowym jest niższy niż poziom wody w walczaku kotła - rysunek 2.

Błąd wskazania wodowskazu przykotłowego można obliczyć w oparciu o wzór [2]:

$$\Delta h = \frac{v' / v_w}{j - (v' / v'')} \cdot h \quad [\text{mm}]$$

gdzie:

v' [m³/kg] objętość właściwa wody wrzącej w walczaku kotła,
 v'' [m³/kg] objętość właściwa pary suchej nasyconej w walczaku,
 v_w [m³/kg] objętość właściwa wody w szkłe wodowskazowym,
 j [-] współczynnik uwzględniający obecność pęcherzyków pary w przestrzeni wodnej w walczaku,
 h [mm] wysokość słupa wody w szkłe wodowskazowym w stosunku do osi dolnego króćca wodowskazu.

Błąd wskazania wodowskazu przykotłowego Δh [mm]								
h [mm]	Ciśnienie pracy kotła parowego [barg]							
	1	4	6	8	10	16	20	32
j = 1,00								
50	1,4	2,3	2,4	2,6	2,7	3,1	3,3	3,7
100	2,8	4,5	4,8	5,2	5,5	6,2	6,7	7,5
150	4,2	6,8	7,3	7,7	8,2	9,3	10,0	11,2
200	5,6	9,1	9,7	10,3	10,9	12,3	13,3	14,9
j = 0,95								
50	4,1	5,0	5,2	5,4	5,5	5,9	6,2	6,6
100	8,2	10,1	10,4	10,7	11,1	11,8	12,3	13,2
150	12,4	15,1	15,6	16,1	16,6	17,7	18,5	19,8
200	16,5	20,1	20,8	21,4	22,1	23,6	24,6	26,5
j = 0,90								
50	7,1	8,1	8,3	8,5	8,6	9,0	9,3	9,8
100	14,3	16,2	16,5	16,9	17,3	18,1	18,7	19,7
150	21,4	24,3	24,8	25,4	25,9	27,1	28,0	29,5
200	28,5	32,4	33,1	33,8	34,5	36,2	37,3	39,3

Tabela 2. Zestawienie obliczeń wartości błędu wskazania wodowskazu przykotłowego.

Rzeczywisty poziom wody w walczaku jest wyższy od odczytywanego na wodowskazie o wartości przedstawione w tabeli 2.

Błąd wskazania wodowskazu przykotłowego zależy od: wysokości słupa wody w szkłe wodowskazowym w stosunku do osi dolnego króćca wodowskazu oraz od ciśnienia pracy kotła parowego. Błąd wskazania jest tym większy im większe jest

ciśnienie robocze w kotle parowym oraz im wyższy jest chwilowy poziom wody w walczaku kotła.

Wartości współczynnika uwzględniającego obecność pęcherzyków pary w przestrzeni wodnej w walczaku kotła z zakresu $j = 0,9 - 0,95$ są typowe dla kotłów płomienicowo płomieniówkowych oraz dla kotłów, w których mieszanina parowo-wodna z rur odparowujących wprowadzana jest pod lustro wody w walczaku.

Wartość współczynnika uwzględniającego obecność pęcherzyków pary w przestrzeni wodnej w walczaku $j = 1$ jest typowa dla kotłów, w których mieszanina parowo-wodna z rur odparowujących wprowadzana jest nad lustrem wody w walczaku.

5. Zalecenia wynikające z analizy zjawisk powodujących zmianę położenia punktów przełączeń.

Opisane zjawiska polegające na zmianie punktu przełączania układów sygnalizacji alarmowej lub regulacji poziomu może zostać skorygowane bezpośrednio na etapie odbioru kotła. W tym zakresie sprawdzone zostało praktycznie zalecenie: Na każde 10 bar ciśnienia roboczego należy skrócić pręty elektrod przewodnościowych o 10mm w stosunku do długości, jaka zostanie wyznaczona dla warunków kotła w stanie zimnym bez obciążenia.

Zazwyczaj producenci kotłów parowych uwzględniają powyżej opisane efekty powodujące rozbieżności pomiarowe podając już skorygowane długości elektrod - w przypadku, gdy podstawą ustalenia poziomu regulacji (długości elektrod) są dane producenta kotła nie zaleca się skracania elektrod bez porozumienia się z tym producentem.

Jeżeli różnica między wskazaniem wodowskazu, a punktem przełączenia w istotny sposób przekracza wartości podane w powyższym zaleceniu, przyczyn należy dopatrywać się w błędnej konstrukcji kotła lub jakości wody kotłowej.

6. Błędy konstrukcyjne kotłów powodujące zmiany położenia punktów przełączeń.

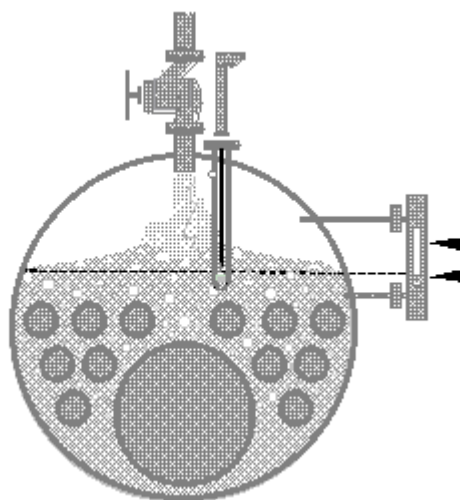
Do najczęściej spotykanych błędów konstrukcyjnych będących przyczyną zmian położenia punktów przełączeń można zaliczyć :

- a. niewłaściwe umieszczenie elektrod pomiaru poziomu w stosunku do głównego króćca poboru pary z kotła,
- b. niewłaściwe rozwiązanie konstrukcyjne rur osłonowych,
- c. niewłaściwie rozwiązany system zasilania kotła wodą zasilającą.

6.1 Niewłaściwe umieszczenie elektrod pomiaru poziomu w stosunku do głównego króćca poboru pary z kotła.

Podczas pracy kotła parowego pod obciążeniem powierzchnia wody w kotle jest nie tylko wzburzana przez wydostające się pęcherze parowe, ale również wybrzusza się w kierunku króćca poboru pary przyjmując ostatecznie formę zbliżoną do przedstawionej na rysunku 3.

Usytuowanie elektrody pomiaru poziomu w bezpośrednim sąsiedztwie króćca poboru pary może doprowadzić do uzyskania fałszywej informacji o rzeczywistym chwilowym poziomie wody w kotle. O ile wcześniej omawiane zjawiska wzburzenia powierzchni wody przez pęcherze parowe oraz zróżnicowania poziomów w walczaku kotła i na wodowskazie przykotłowym (szczególnie w przypadku uwzględnienia poprawki na te zjawiska) nie mają negatywnego wpływu na bezpieczeństwo pracy kotła; o tyle spowodowanie wybrzuszenia powierzchni wody w walczaku kotła połączone z niewłaściwym usytuowaniem elektrod pomiaru poziomu może okazać się bardzo niebezpieczne. W skrajnych przypadkach można doprowadzić do odsłonięcia zewnętrznych powierzchni ogrzewalnych w kotle płomienicowo-płomieniówkowym, podczas, gdy elektrody będą wskazywały właściwy poziom wody w kotle. Stan taki najczęściej prowadzi do niebezpiecznej awarii kotła.

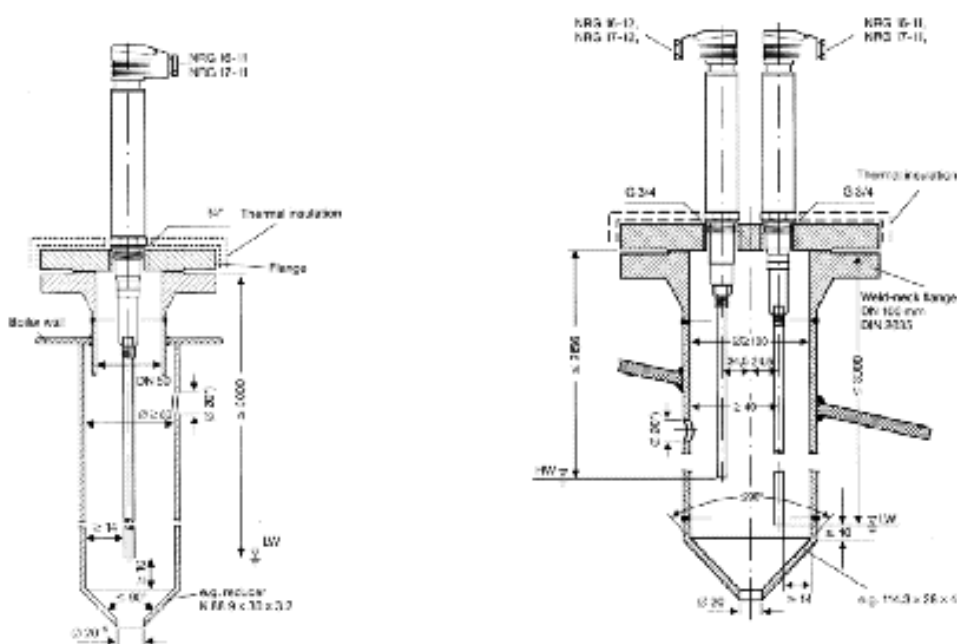


Rysunek 3. Nieprawidłowe usytuowanie elektrod pomiaru poziomu względem króćca poboru pary z kotła parowego.

6.2 Niewłaściwe rozwiązanie konstrukcyjne rur osłonowych dla elektrod pomiarowych.

Rura osłonowa prętów elektrody pomiaru poziomu zainstalowanej wewnątrz kotła ma za zadanie zabezpieczyć elektrodę pomiarową przed możliwością jej uszkodzenia lub przed spowodowaniem wygięcia prętów podczas prac kontrolno-remontowych wewnątrz walczaku kotła. Konstrukcja tej rury musi jednakże zapewnić również możliwość poprawnego funkcjonowania elektrod pomiaru poziomu.

W związku z powyższym rura osłonowa dla elektrody pomiaru poziomu musi spełniać pod względem konstrukcyjnym kilka podstawowych zasad: nie może być to rura o zbyt małej średnicy wewnętrznej, ponieważ w przeciwnym przypadku możemy oczekiwać powstawania tak zwanego efektu kapilary powodującego znaczące dysproporcje pomiędzy mierzonym poziomem wody wewnątrz rury osłonowej a rzeczywistym poziomem wody wewnątrz walczaka kotła, musi być wykonany otwór wyrównawczy w górnej parowej części rury (brak tego otworu lub otwór wykonany zbyt nisko mogą być przyczyną niebezpiecznych zaburzeń w pracy układu pomiarowego), konstrukcja dolnej części rury osłonowej musi stanowić zabezpieczenie przed falowaniem i wnikaniem dużych pęcherzy parowych do wewnątrz rury osłonowej, a jednocześnie nie dopuszczać do osadzania się nadmiernej ilości zanieczyszczeń w jej dolnej części (zanieczyszczenia gromadzące się nadmiernie w dolnej części rury osłonowej mogą być przyczyną przekłamania sygnału regulacyjnego).



Rysunek 4. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych rur osłonowych.

Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych rur osłonowych dla elektrod pomiarowych w oparciu o dane zawarte w [3] przedstawia rysunek 4. Uwzględnienie zaleceń dotyczących prawidłowej konstrukcji rur osłonowych jest niezwykle ważne ze względu na poprawność pomiaru poziomu wody w kotle parowym.

6.3 Niewłaściwie rozwiązany system zasilania kotła wodą zasilającą.

Chłodniejsza woda zasilająca wprowadzana w obręb walczaka kotła w sposób nieprawidłowy, zarówno pod względem rozprzodzenia strumienia w objętości walczaka jak i chwilowej wielkości tego strumienia, może powodować lokalnie niekontrolowane obniżania poziomu wody, które z kolei mogą być przyczyną awarii kotła.

7. Wpływ jakości wody kotłowej na zmianę położenia punktów przełączeń.

Oprócz wzburzenia powierzchni lustra wody w walczaku kotła na skutek przebijania się pęcherzy parowych przez to lustro wody, obserwujemy również powstawanie piany na skutek ruchów wody kotłowej o niezgodnym z zaleceniami składzie chemicznym, czyli wody kotłowej o złej jakości.

Piana ta jest bardzo obfita, przewodząca i stwarza bardzo duże zagrożenie dla bezpieczeństwa pracy kotła. Z tego też względu niezwykle ważne jest dbanie o wysoką jakość wody kotłowej i możliwie najlepsze uzdatnienie wody uzupełniającej tak, aby wyeliminować niebezpieczeństwo pojawiania się tego typu piany podczas pracy kotła parowego.

8. Podsumowanie.

Omówione przyczyny zmian położenia punktów przełączania w układzie elektrodowej regulacji poziomu wody w kotłach parowych wynikające ze zmian stanu eksploatacyjnego kotła parowego nie stanowią zagrożenia dla bezpieczeństwa pracy kotła. Konieczna jest jednak świadomość przyczyn występowania tego zjawiska oraz poznanie metod ograniczenia wpływu tego zjawiska na układ regulacji poziomu.

Z drugiej strony przyczyny wynikające ze złej konstrukcji kotła lub złej jakości wody kotłowej powinny być możliwie szybko określone i usunięte, w przeciwnym przypadku może to mieć wpływ na zagrożenie bezpieczeństwa pracy kotła.

9. Literatura.

1. "Automatyczna regulacja kotłów parowych - Regulacja dopływu wody zasilającej" - Krzysztof Szałucki - Materiały informacyjne Gestra Polonia - Gdańsk 1996
2. "Wytwornice pary - przykłady obliczeniowe" - Witold Piotrowski, Henryk Rokicki, Ryszard Szałucki - Skrypt Politechniki Gdańskiej - Gdańsk 1984
3. Gestra GmbH - karty katalogowe elektrod poziomu

Krzysztof Szałucki

tel.kom. 0-602614535 [mailto: info@szalucki.pl](mailto:info@szalucki.pl)
www.szalucki.pl