

# IMPACT S.C.

AUTOMATYKA PRZEMYSŁOWA

**02-555 Warszawa Al. Niepodległości 177**  
**tel. 825-55-85 fax. 825-79-14**  
E-mail. [impact@impact.com.pl](mailto:impact@impact.com.pl)  
[www.impact.com.pl](http://www.impact.com.pl)

## **Ogólny zarys automatyzacji rusztowych** **kotłów wodnych i parowych**

**Opracował: Paweł Rzeńca**  
**Warszawa 15.02.2005**

## Spis Treści

<b>1.0 SPALANIE WĘGLA</b>	<b>3</b>
<b>2.0 AUTOMATYZACJA PROCESU SPALANIA WĘGLA</b>	<b>5</b>
2.1 REALIZACJA AUTOMATYZACJI PROCESU SPALANIA	5
2.2 NIEZBĘDNE POMIARY OBIEKTOWE	5
2.2.1 POMIAR ENERGII DOSTARCZONEJ	5
2.2.2 POMIAR ENERGII ODZYSKANEJ	6
2.2.3 DODATKOWE POMIARY PROCESOWE	6
2.3 UKŁADY WYKONAWCZE	7
2.4 UKŁADY REGULACYJNE PRACY KOTŁA	7
2.5 UKŁADY BILANSOWANIA PRACY KOTŁA	8
2.6 BŁOKADY KOTŁOWE	8
2.7 UKŁADY ODŻUŻLANIA	8
2.8 UKŁAD ODGAZOWYWACZA	9
<b>3.0 WIZUALIZACJA PROCESU</b>	<b>9</b>
3.1.1 WIZUALIZACJA PRZYKOTŁOWA	9
3.1.2 WIZUALIZACJA CENTRALNA	9
<b>4.0 UKŁADY ANALIZY PRACY KOTŁOWNI</b>	<b>10</b>
<b>5.0 ANALIZA SPODZIEWANYCH ZYSKÓW W NASTĘPSTWIE AUTOMATYZACJI PROCESÓW KOTŁOWYCH</b>	<b>11</b>
5.1 OGRANICZENIE ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ	11
5.1.1 UKŁAD WENTYLATORA WYCIĄGOWEGO	11
5.1.2 UKŁAD WENTYLATORA PODMUCHU	11
5.1.3 NAPĘDY RUSZTÓW	12
5.1.4 UKŁAD PODMIESZANIA GORĄCEGO	12
5.1.5 UKŁAD PRZEPIYWU WODY PRZEZ KOCIOŁ	12
5.2 ZWIĘKSZENIE DYNAMIKI PRACY KOTŁA	13

## **1.0 Spalanie węgla**

Proces spalania węgla jest wciąż najtańszym źródłem uzyskiwania energii cieplnej. Jest on jednak dość szkodliwy dla środowiska. Powstają produkty uboczne jak:

- mieszanina gazów wylotowych zawierająca niespalone składniki węgla
- związki toksyczne powstałe w wyniku spalania węgla w nieoptymalnych warunkach
- nieodebrane ciepło z gazów wylotowych
- pyły w spalinach wylotowych

Zapanowanie nad procesem spalania węgla jest trudne. Parametry fizyko-chemiczne węgla są bardzo zmienne. Sam proces spalania jest powolny, trudno poddający się regulacji. Wprowadzenie urządzeń do stabilizacji procesu spalania, jest drogą do osiągnięcia powtarzalnych warunków prowadzenia procesu spalania w których za pomocą powtarzalnego eksperymentu można dopracować warunki spalania przybliżone do optymalnych.

Zadanie stabilizacji procesu spalania jest realizowane poprzez automatyczną regulację parametrów wejściowych i wyjściowych danego obiektu. W przypadku kotłów z rusztem mechanicznym niezbędne są pomiary wyznaczające:

- ilość ciepła wprowadzonego do kotła w postaci mieszanki paliwowej
- ilość ciepła odebranego z procesu spalania węgla
- pomiary pomocnicze

Na podstawie tych danych można w sposób dyskretny wyznaczać sprawność procesu spalania węgla. Metoda ta choć obciążona najczęściej stałym błędem wynikającym z zmiennych parametrów fizyko-chemicznych węgla, daje informację o chwilowych tendencjach procesu spalania, co umożliwia jego daleko idącą automatyzację. Rozważania powyższe są słuszne przy założeniu iż poprawę jakości procesu spalania węgla chcemy uzyskać możliwie najniższym kosztem. Oczywiście istnieje możliwość rozbudowy aparatury pomiarowej o dyskretną analizę parametrów fizyko-chemicznych węgla, powietrza wlotowego, ale dla najczęściej spotykanych jednostek energetycznych w naszym kraju, jest to ekonomicznie mało zasadne. Twierdzenie nie dotyczy dużych jednostek energetycznych (elektrownie, elektrociepłownie), gdzie koszt rozbudowanych pomiarów jest ułamkiem kosztów ogólnych a uzyskana poprawa procesu spalania natychmiast przekłada się na zyski zarówno dla środowiska jak i producenta ciepła.

Wprowadzenie automatyzacji jest zasadne dla nowych jednostek energetycznych, (choć obecnie rzadko powstających) lub dla istniejących, po zakończeniu remontu kapitalnego uwzględniającego wprowadzenie automatyzacji. Modernizacja kotłów jedynie poprzez automatyzację - na pewno szybko uświadomi o konieczności remontu kotła. Rzadko w której kotłowni znane są bieżące wyniki pracy kotła, szczególnie gdy idzie o jego chwilową sprawność energetyczną. Często sprawność kotła wyznaczana jest w oparciu o tzw. „stratę wylotową”. Nie jest to jednak wiarygodna metoda ze względu na najczęściej nieaktualne fizyko-chemiczne parametry produktów spalania węgla. Tym niemniej jest to stosowana metoda, dająca zaskakująco „dobre wyniki”.

## Ogólny zarys automatyzacji rusztowych kotłów wodnych i parowych

Automatyzacje kotłów można przeprowadzić stosunkowo umiarkowanymi kosztami. Większość niezbędnych urządzeń jest produkcji krajowej – w tym specjalizowany sterownik mikroprocesorowy oraz system wizualizacji pracy kotłowni. Sam zysk wynika z oszczędności energii elektrycznej (dzięki rezygnacji używania klap wyciągowych i podmuchowych, wymiana silników na mniejsze wraz z zastosowaniem falowników) w krótkim czasie rekompensuje poniesione nakłady. Dokładne dane o pracy kotłów, zużyciu węgla przez poszczególne jednostki kotłowe, czas pracy, wyprodukowana energia cieplna – pozwalają na racjonalną eksploatację posiadanych urządzeń jak również zaplanowanie remontów szczególnie w sytuacji utraty sprawności kotła.

## **2.0 Automatyizacja procesu spalania węgla**

Automatyizacja procesu spalania węgla polega na ustabilizowaniu warunków w jakich proces ten będzie się odbywał.

### **2.1 Realizacja automatyzacji procesu spalania**

W tym celu należy wyposażyć kocioł w niezbędne pomiary i układy wykonawcze. Pomiary mają na celu wyznaczenie dyskretnej sprawności kotła na podstawie informacji o teoretycznej ilości ciepła wprowadzonego oraz o ilości ciepła rzeczywiście odzyskanego. Stosunek tych wartości jest sprawnością kotła. Pomiary dodatkowe pozwalają na ustabilizowanie bieżących parametrów roboczych. Układy wykonawcze muszą umożliwić ciągłą regulację parametrów roboczych.

### **2.2 Niezbędne pomiary obiektowe**

#### **2.2.1 Pomiar energii dostarczonej**

Ilość ciepła wprowadzanego do kotła wyznaczamy na podstawie następujących pomiarów i stałych procesowych:

- szerokość rusztu (stała)
- wysokość warstwy węgla
- korekta od kształtu warstwownicy (stała)
- szybkość liniowa posuwu rusztu
- gęstość usypowa węgla na ruszcie (stała)
- kaloryczność węgla (stała)
- przepływ powietrza podmuchowego
- temperatura powietrza podmuchowego
- ciśnienie powietrza podmuchowego

### **2.2.2. Pomiar energii odzyskanej**

Ilość ciepła odzyskanego z kotła wodnego wyznaczamy na podstawie następujących pomiarów i stałych procesowych:

- przepływ wody przez kocioł
- temperatura wejściowa wody do kotła
- temperatura wyjściowa wody z kotła
- ciśnienie wody wejściowej do kotła
- ciśnienie wody wyjściowej z kotła

Dla kotła parowego wyznaczana jest ilość ciepła zawarta w parze wodnej na podstawie następujących pomiarów:

- przepływ masowy pary
- entalpia pary
- różnica ciśnień na kryzie pomiarowej
- temperatura pary
- ciśnienie pary

Gdy w kotle zainstalowany jest ekonomizer dodajemy następujące pomiary:

- przepływ wody przez ekonomizer
- temperatura wejściowa wody do ekonomizera
- temperatura wody wyjściowej z ekonomizera
- ciśnienie wody wejściowej przed ekonomizerem
- ciśnienie wody wyjściowej za ekonomizerem

### **2.2.3. Dodatkowe pomiary procesowe**

Do prowadzenia kotła wodnego w trybie automatycznym niezbędne są dodatkowo następujące pomiary procesowe:

- przepływ powietrza w strefach podmuchowych
- podciśnienie spalin w komorze paleniskowej
- temperatura spalin w czopuchu
- zawartość tlenu w spalinach
- temperatura zewnętrzna otoczenia
- przepływ wody w obwodzie podmieszania gorącego

### **2.3 Układy wykonawcze**

Do prowadzenia kotła wodnego w trybie automatycznym niezbędne są następujące układy wykonawcze:

- wentylator wyciągowy z regulowanymi płynnie obrotami
- wentylator podmuchowy z regulowanymi płynnie obrotami
- wentylator powietrza wtórnego
- napęd rusztu z regulowanym płynnie posuwem liniowym
- układ z ciągłą regulacją przepływu wody przez kocioł
- układ z ciągłą regulacją przepływu wody w obwodzie pomieszczenia gorącego

Dla kotła parowego w trybie automatycznym niezbędne są następujące układy wykonawcze:

- wentylator wyciągowy z regulowanymi płynnie obrotami
- wentylator podmuchowy z regulowanymi płynnie obrotami
- wentylator powietrza wtórnego
- napęd rusztu z regulowanym płynnie posuwem liniowym
- układ z ciągłą regulacją przepływu wody zasilającej
- układ regulacji poziomu wody w walczaku (na bazie przepływu wody zasilającej)

### **2.4 Układy regulacyjne pracy kotła**

Posiadając wyszczególnione pomiary i układy wykonawcze można przystąpić do realizacji automatycznego sterowania pracą kotła wodnego. Można wyodrębnić następujące obwody regulacji:

- regulacja temperatury wody wyjściowej z kotła
- regulacja temperatury wody wejściowej do kotła
- regulacja przepływu wody przez kocioł
- regulacja mieszanki paliwowej
- regulacja posuwu liniowego rusztu
- regulacja przepływu powietrza podmuchu
- regulacja podciśnienia w komorze paleniskowej

Dla kotła parowego można wyodrębnić następujące obwody regulacji:

- regulacja ciśnienia pary z kotła
- regulacja przepływu wody zasilającej
- regulacja poziomu wody w walczaku
- regulacja mieszanki paliwowej
- regulacja posuwu liniowego rusztu
- regulacja przepływu powietrza podmuchu
- regulacja podciśnienia w komorze paleniskowej

## **2.5 Układy bilansowania pracy kotła**

Dodatkowo dla każdego kotła wyznaczane są bilansy:

- bilans energii cieplnej (woda, para)
- bilans ilości wody
- bilans ilości węgla
- bilans czasu pracy kotła
- bilans sprawności kotła

## **2.6 Blokady kotłowe**

Dla kotła wodnego na podstawie posiadanych pomiarów zrealizowane zostaną blokady pracy kotła wskutek:

- niski przepływ wody przez kocioł
- niskie ciśnienie wody wejściowej do kotła
- wysoka temperatura wody wyjściowej z kotła
- niski przepływ wody przez ekonomizer
- niskie ciśnienie wody wejściowej do ekonomizera
- wysoka temperatura wody wyjściowej z ekonomizera
- brak pracy wentylatora wyciągowego

Dla kotła parowego na podstawie posiadanych pomiarów zrealizowane zostaną blokady pracy kotła wskutek:

- niski poziom wody w walczaku
- wysoki poziom wody w walczaku
- wysokie ciśnienie pary
- wysoka temperatura pary
- niski przepływ wody do kotła
- niski przepływ wody przez ekonomizer
- niskie ciśnienie wody wejściowej do ekonomizera
- wysoka temperatura wody wyjściowej z ekonomizera
- brak pracy wentylatora wyciągowego

## **2.7 Układy odzūżlania**

Niezależnie od typu kotła automatyka objęte są układy odzūżlania i odpylania w zakresie załączania, wyłączania, regulacji wydajności, sygnalizacji stanów awaryjnych.



## **2.8 Układ odgazowywacza**

Układ odgazowywacza podlega automatyzacji jako odrębne urządzenie. Regulacji podlegają:

- poziom wody w odgazowywaczu
- temperatura wody w odgazowywaczu
- ciśnienie wody w odgazowywaczu
- temperatura wody zasilającej
- dozowanie czynników uzdatniających

## **3.0 Wizualizacja procesu**

Wizualizacja procesu jest realizowana dwutorowo: wizualizacja przykotłowa, wizualizacja centralna. Oprogramowanie wizualizacyjne może być uproszczone, dołączane do oprogramowania sterownikowego lub niezależne – pochodzące od innego producenta. W zakresie oprogramowania niezależnego preferowane jest firma ASTOR z programem ASIX, jako polski producent oprogramowania wizualizacyjnego. Istnieje wiele aplikacji współpracujących z wzmiankowanym oprogramowaniem.

### **3.1.1 Wizualizacja przykotłowa**

Przy każdym kotle znajduje się tablica synoptyczna za pomocą której palacz może lokalnie prowadzić kocioł. Realizacja tablicy synoptycznej może być za pomocą przyrządów pomiarowych niezależnych od pomiarów sterownikowych lub za pomocą ekranu komputera podłączonego do sterownika procesowego.

### **3.1.2 Wizualizacja centralna**

W dowolnie wybranym miejscu kotłowni można umieścić stanowisko komputerowe, bezpośrednio podłączone do sterownika procesowego. Informacje o pracy kotłów, o pracy systemów wspólnych są obrazowane na kolejnych rysunkach synoptycznych. Ciągła rejestracja wszystkich parametrów pozwala na analizę zmienności parametru w zadanym czasie, bądź w funkcji innego parametru. Konfiguracja informacji ekranowej jest ściśle uzależniona od lokalnych procedur eksploatacji kotłowni.

## **4.0 Układy analizy pracy kotłowni**

Dla pełnego zobrazowania pracy kotłowni można wprowadzić system bilansowania węgla wprowadzonego do poszczególnych kotłów. Wymaga to zainstalowania wagi taśmociągowej oraz czujników informujących o numerze aktualnie napełnianego bunkra. Dodatkowo w bunkrach można zainstalować czujniki mówiące o stopniu wypełnienia węglem. Układ pozwala na niezależne bilansowanie ilości węgla zużywanego przez poszczególne kotły.

Na podstawie sygnałów pomiarowych można zrealizować raportowanie pracy kotłów (kotłowni) w zakresie:

- bilans energii cieplnej (woda, para)
- bilans ilości wody
- bilans ilości węgla
- bilans czasu pracy kotła
- bilans sprawności kotła
- inne parametry technologicznie uzasadnione

## **5.0 Analiza spodziewanych zysków w następstwie automatyzacji procesów kotłowych**

### **5.1 Ograniczenie zużycia energii elektrycznej**

#### **5.1.1 Układ wentylatora wyciągowego**

W tradycyjnej kotłowni napędy wentylatorów wyciągowych (poza układami pompowymi) są dużymi odbiorcami energii elektrycznej. Nominalne moce silników są najczęściej zawyżone ze względu na straty na klapach regulacyjnych. Praktyka wykazała że przy rezygnacji z regulacji ciągu za pomocą klap na rzecz falowników, istnieje możliwość zmniejszenia mocy silnika średnio o 15-30%. Samo zastosowanie falownika daje kolejną oszczędność energii elektrycznej nawet 20%. Uzyskiwane w zmodernizowanym układzie podciśnienie w komorze paleniskowej jest zaskakująco stabilne. Przykładowo podciśnienie zadane na poziomie  $-25\text{Pa}$  regulator potrafi utrzymać z dokładnością  $+ - 1\text{Pa}$ . W przypadku gdy jednostka ciepła pracuje przy niskich obciążeniach cieplnych, oszczędności wynikłe z zastosowania modernizacji regulacji wydajności wyciągu za pomocą falownika są szczególnie duże.

#### **5.1.2 Układ wentylatora podmuchu**

Znane układy podmuchowe mają z reguły za małą wydajność powietrza w stosunku do maksymalnej mocy jednostki kotłowej. Zdarza się że uzyskiwane ciśnienie jest niewystarczające do prawidłowego przedmuchiwanie warstwy węgla na ruszcie, szczególnie przy węglu niskiej jakości. Z drugiej strony często silniki napędowe wentylatorów podmuchu są źle dopasowane do obciążenia w postaci łopatek wentylatora. Znane są przypadki gdy moc silnika jest zaledwie w połowie wykorzystana. Danych tych nie można uzyskać bez opomiarowania jednostki kotłowej. Modyfikacja układu podmuchowego polegająca na rezygnacji z regulacji podmuchu klapami na rzecz sterowania falownikiem, poprawia wydajność układu podmuchowego przez eliminację strat na klapach regulacyjnych oraz oszczędność energii elektrycznej. Zastosowanie falownika pozwala podnieść maksymalne obroty silnika, uzyskując jego dociążenie. Praktycznie 10% zwiększenie obrotów silnika daje szybki przyrost ilości powietrza podmuchowego bez konieczności zmian układów łopatek wentylatora. Dalsze zwiększanie obrotów silnika może okazać się niebezpieczne ze względu na nadmierne obroty i powstające przeciążenia wału napędowego. I choć w układach podmuchów nie są spodziewane duże oszczędności, pojawia się efekt końcowy w postaci podwyższenia sprawności kotła wynikłej z dokładnego spalania węgla w przewidzianej strefie rusztu

### **5.1.3 Napędy rusztów**

Układy napędów wymagają bardzo precyzyjnej regulacji prędkości posuwu taśmy rusztu. Dotychczas stosowane przekładnie mechaniczne nie dawały możliwości płynnej regulacji. Wprowadzenie silników prądu stałego umożliwiło płynną regulację, chociaż wymagała ona kłopotliwych układów sterujących napięciem podawanym na silnik. Zastąpienie silników prądu stałego typowymi silnikami prądu zmiennego wraz z zasilaniem ich poprzez falownik umożliwiło precyzyjną regulację obrotów w całym zakresie roboczym. Wprowadzenie niezależnego pomiaru prędkości rusztu umożliwia stabilizację jego posuwu liniowego niezależnie od zmian oporów mechanicznych. Pozwala również na szybką diagnostykę stanu napędu, szczególnie w przypadku zacięć mechanicznych. Korzyści ekonomiczne to zastosowanie typowych tanich silników napędowych, oszczędność energii elektrycznej dzięki falownikowi, precyzyjne prowadzenie procesu pozwalające na jednostajne spalanie węgla.

### **5.1.4 Układ podmieszania gorącego**

W klasycznych rozwiązaniach w układzie podmieszania gorącego zawsze występuje pompa obiegowa i zawór regulacyjny. Regulacja przepływu odbywa się na zaworze, poprzez precyzyjne ustawianie stopnia jego otwarcia. Pompa cały czas pracuje na nominalnych obrotach.

Dynamika układu podmieszania jest duża i zależy głównie od stopnia obciążenia cieplnego kotła. W przypadku małego przepływu podmieszającego, pompa pracuje głównie na wewnętrzne mielenie wody. Straty energii są bardzo duże. Zastosowanie falownika do regulacji wydajności pompy pozwala radykalnie zmniejszyć dostarczaną moc elektryczną w takich sytuacjach. Spodziewana oszczędność energii elektrycznej może dochodzić nawet do 70%. Brak oporów przepływu wody na zaworze regulacyjnym dodatkowo zmniejsza zapotrzebowanie na energię elektryczną.

### **5.1.5 Układ przepływu wody przez kocioł**

Przepływ wody przez kocioł jest wymuszany pompą o dużej mocy. Regulacja przepływu jest niezbędna dla zachowania prawidłowej pracy kotła. Tradycyjne rozwiązanie na zaworze regulacyjnym, szczególnie przy dużych przepływach wprowadza dodatkowe zapotrzebowanie na moc. Rezygnacja z zaworu regulacyjnego na rzecz falownika wydaje się oczywista. Uzyskuje się bardzo dokładną regulację przepływu wody przez kocioł, uwzględniającą przepływy podmieszania gorącego.

## **5.2 Zwiększenie dynamiki pracy kotła**

Wprowadzenie automatycznej regulacji parametrów kotła pozwoliło na zwiększenie uzyskiwanego zakresu mocy cieplnej. Dotyczy to poszerzenia w dół uzyskiwanych mocy kotła. W wielu kotłowniach na czas okresowego spadku zapotrzebowania na moc cieplną uruchamia się jednostki o mniejszej mocy. Oczywiście jest to zasadne, chociaż nie zawsze możliwe. Precyzyjna regulacja parametrów pozwala na stabilną pracę kotła nawet w warunkach zmniejszenia wydajności kotła o połowę.

W przypadku kotłów pracujących na potrzeby ogrzewnictwa, zmniejszenie mocy kotła uzyskiwane jest przez obniżenie temperatury wyjściowej wody z kotła.

W przypadku produkcji wody do potrzeb technologicznych zmieniany jest przepływ wody przez kocioł, przy zachowaniu stałej temperatury wody wyjściowej. Ten przypadek jest trudniejszy do realizacji, gdyż łatwo o przekroczenie dopuszczalnych parametrów granicznych. Dzięki precyzyjnej regulacji parametrów mieszanki paliwowej można stabilnie utrzymywać niską moc kotła przy zachowaniu wysokiej temperatury wody wyjściowej.