

## Podręcznik projektanta kotłowni parowych

Kotły Przemysłowe

Profesjonalne planowanie  
i efektywne projektowanie



**BOSCH**

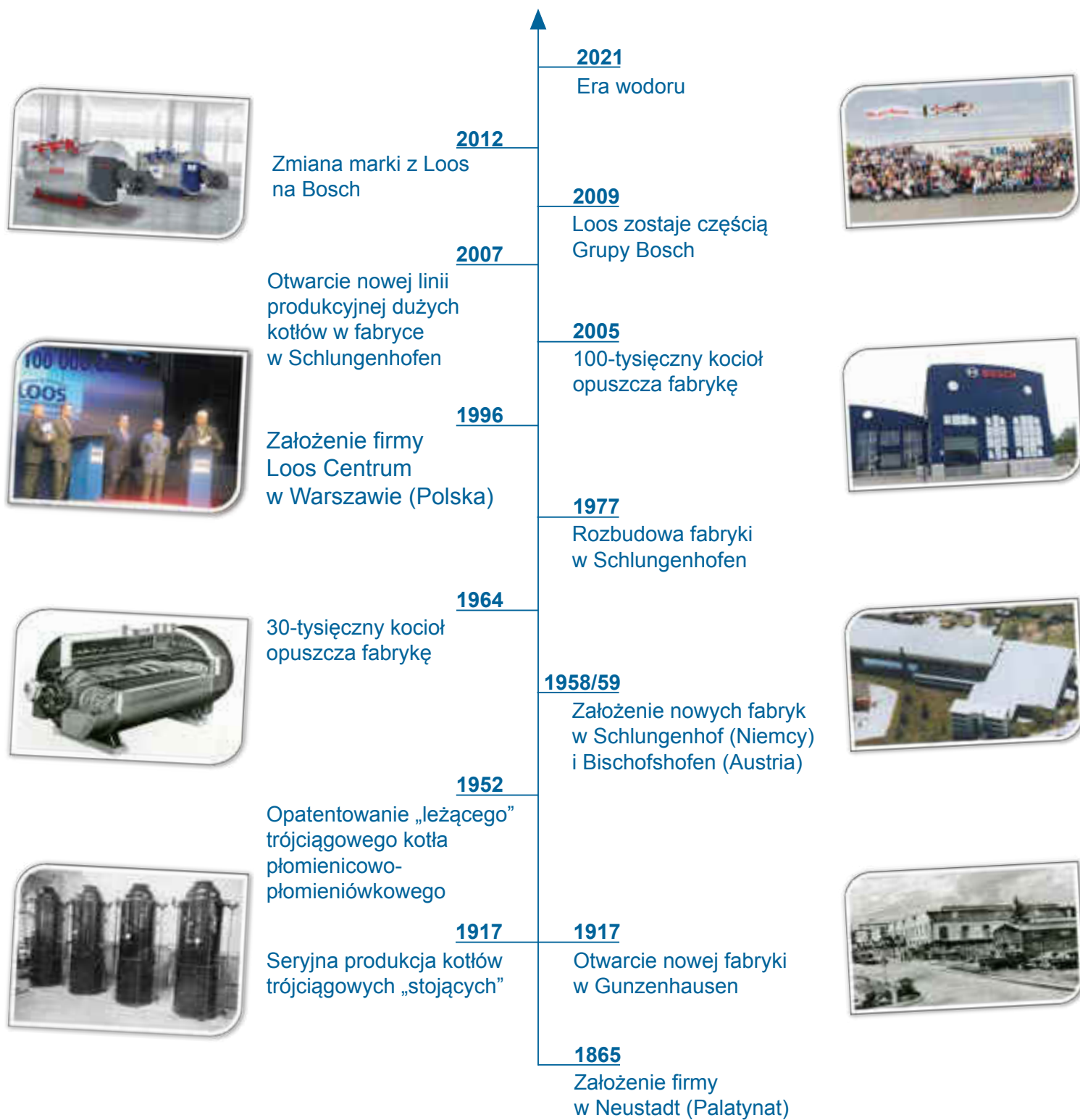
**BOSCH**





# Energia jest naszą pasją

## 155 lat pasji do efektywności energetycznej





## Słowo wstępne

Budowanie firmy LOOS Centrum opierałem i opieram do dnia dzisiejszego na wartościach rodzinnych. Jestem głęboko przekonany, że budowanie organizacji skupia się na fundamencie zaufania, pracowitości, a przede wszystkim wiary we własne produkty. Utożsamiam się z powiedzeniem pochodzącym z książki pt. „Mały Książę” Antoine’a de Saint- Exupéry’ego „Dobrze widzi się tylko sercem. Najważniejsze jest niewidoczne dla oczu”. Tylko dzięki podejściu do naszej pracy z sercem i szerszemu postrzeganiu naszej działalności udało nam się przez niemal 25 ostatnich lat z powodzeniem rozwijać naszą firmę w Polsce.

Zawsze wiedziałem, że każda fabryka potrzebuje serca, którego bicie zależy od jego siły (efektywności energetycznej), wydajności i współpracy z innymi organami. Dla mnie sercem każdej fabryki są nasze kotły przemysłowe, których żywotność i niezawodność stanowią dla mnie ogromne zobowiązanie u naszych klientów. Dbamy nie tylko o serca polskich szpitali, fabryk przemysłowych, ciepłowni miejskich ale również mleczarni czy zakładów produkcyjnych z każdej niemal gałęzi gospodarki.

Niniejsza publikacja, w której mam zaszczyt zamieścić „słowo wstępu” stanowi dla mnie sentymentalną podróż, która lata temu rozpoczęła się na ISH we Frankfurcie nad Menem i trwa do dzisiaj w Warszawie. Mam nadzieję, że zawarta w niej nieoceniona wiedza szczegółowo wprowadzi nie jednego inżyniera czy też projektanta w świat niezwykłych „serc” każdej fabryki oraz będzie inspirująca do rozwijania tego niezwykle ważnego elementu sektora energetycznego.

Szczególne słowa podziękowania kieruję do mojej Rodziny, z którą buduję tę firmę: mojemu Bratu – Joachimowi, który nieprzerwanie od początku wspólnie ze mną stawiał każdą cegłę LOOS Centrum, mojej Żonie – Agnieszce, niezastąpionemu dyrektorowi zarządzającemu i profesjonalście pod każdym względem. Bez nich nie byłoby tej firmy. Dziękuję również mojemu Zespołowi w Warszawie oraz w Niemczech za entuzjazm, energię i codzienną motywację do przewodzenia tej organizacji. Dziękuję za każdy dzień u Waszego boku – LOOS TEAM.



**Mgr. Inż. Bernhard Morawietz**  
Członek zarządu LOOS Centrum



## Słowo wstępne

Zawsze byłem wierny pasji - bez względu na to, czy był to tenis, ciepłownictwo inżynieryjne czy podróże, nigdy jednak nie sądziłem, że los sprawi, że będę mógł wszystkie te pasje łączyć. Kotłom poświęciłem ponad 30 lat mojego życia, wdrażałem i rozwijałem je na kilku kontynentach. Bez względu na to, czy pracowałem z nimi w Nigerii czy Szwajcarii to zawsze stanowiły dla mnie źródło pokory – gdyż zawsze uczyły mnie czegoś nowego.

Moją wędrówkę po szlakach energetycznych postanowiłem zakończyć w Warszawie, gdzie przez ostatnie 25 lat u boku Bernharda, Joachima oraz Agnieszki Morawietz budujemy wspólnie firmę „LOOS Centrum”, która na stałe dołączyła do grona moich pasji. Uwielbiam jej harmonię pokoleń inżynierów, jej dynamikę podczas handlowych negocjacji a przede wszystkim dyskurs na temat technicznych rozwiązań oraz korzyści naszej technologii dla naszych klientów. Ponad wszystko jednak staramy się przekazywać naszym klientom nasze największe aktywo – zaufanie, którego wartość jest bezcenna.

Czytałem oraz recenzowałem wiele publikacji naukowych na temat kotłów oraz modułów energetycznych – ale brakowało mi kompendium wiedzy zgromadzonego w jednym miejscu, na temat tego niezwykle ciekawego urządzenia jakim jest kocioł przemysłowy. Poniższa publikacja bez wątpienia wypełnia tę pustkę i cieszę się, że mogliśmy jako Zespół LOOS Centrum dorzucić swój spory udział w jej tworzeniu.

Mój ambitny Zespół serwisowo-techniczny ciągle mnie zaskakuje, swoją determinacją oraz chęcią nauki. Pomaganie i wspieranie naszych klientów u boku Grzegorza, Michała, Andrzeja czy Rafała oraz pozostałych osób z zespołu serwisowo-technicznego jest przyjemnością oraz ogromnym zobowiązaniem do ciągłego rozwoju. Dziękuję Wszystkim za Wasz nieoceniony wkład w budowę tej firmy.



**Inż. Zbigniew Mocarny**  
Dyrektor ds. Technicznych



## Słowo wstępne

Napoje, żywność, opony samochodowe, papier, ciepło do ogrzewania czy farmaceutyki – niemal każdy produkt obecny w naszej nowoczesnej codzienności powstaje w procesie wytwórczym z udziałem ciepła. W wielu wypadkach to ciepło pochodzi od pary wytwarzanej przez kotły marki Bosch<sup>1</sup> – Technologia bliżej nas. Niezawodność i długotrwała przydatność do użytku naszych systemów kotłowych są podstawą naszej filozofii produkcji i osiągamy to poprzez utrzymywanie najwyższych standardów jakości.

W czasie gdy postępuje globalne ocieplenie i kurczą się zasoby paliw kopalnych naszym celem jest tworzenie wspólnie z naszymi partnerami – architektami, projektantami i wykonawcami instalacji – maksymalnie efektywnych rozwiązań w zakresie wytwarzania ciepła technologicznego. Projektując nasze systemy uwzględniamy w nich skuteczny odzysk ciepła, staramy się zautomatyzować w jak najdalej idącym stopniu ich pracę i sięgamy do odnawialnych źródeł energii, by aktywnie działać na rzecz ochrony środowiska i oszczędnego gospodarowania bogactwami naturalnymi. Uzyskane zmniejszenie zużycia energii w krótkim czasie rekompensuje inwestycję w dodatkowe komponenty systemu i motywuje klientów do obniżania kosztów eksploatacji tą drogą.

Należyte projektowanie coraz bardziej skomplikowanych systemów jest procesem wysoce złożonym, wymagającym od projektantów biegłości w doborze kotłów o optymalnej wydajności przy uwzględnieniu kryteriów użytkowania pary, modeli funkcjonowania sieci i przeznaczenia pary. Niniejszy poradnik ma za zadanie przekazać zasady projektowania kotłowni parowych. Ma także służyć jako narzędzie ułatwiające właściwe projektowanie i pomagające uniknąć błędów. Zawiera dodatkowe wskazówki dla użytkownika z zakresu bezpiecznej i efektywnej eksploatacji i warunków utrzymania wysokiej sprawności użytkowanych urządzeń.

Szczególne podziękowania należą się Tobiasowi Lüpferowi i Sebastianowi Weegerowi za opracowanie techniczne oraz Lutzowi Ehemannowi i Kristin Heininger za realizację.



**Inż. Daniel Gosse MBA**

Kierownik Działu Marketing i Akademia

Bosch Termotechnika

Ciepło i energia na cele przemysłowe i komercyjne

<sup>1</sup> Dawniej Loos International



# Spis treści

<b>Słowo wstępne</b>	<b>3</b>
<b>Wprowadzenie</b>	<b>9</b>
<b>Projektowanie</b>	<b>13</b>
1 Podstawowe dane projektowe, formularze do projektowania	19
2 Ciśnienie	29
3 Zapotrzebowanie na parę	37
4 Paliwo	55
5 Ustawienie kotła	61
6 Prawo	65
<b>Unikanie błędów</b>	<b>73</b>
1 W projektowaniu	75
2 Podczas instalacji	79
3 Podczas eksploatacji	87
<b>Technika</b>	<b>100</b>
1 Para	105
2 Kocioł	117
3 Komponenty	135
4 Kotłownia	177
5 Peryferia	213
6 Wytwarzanie kotłów	235
<b>Efektywność</b>	<b>243</b>
1 Podstawy	245
2 Podwyższenie efektywności energetycznej paleniska	263
3 Podwyższenie efektywności po stronie wody i kondensatu	279
4 Podwyższenie efektywności kotła i instalacji	289
5 Kombinowanie procesów	305

---

<b>Produkty</b>	<b>308</b>
1 Przegład kotłów parowych i osprzętu	311
2 Kotły parowe	313
3 Kotły odzysknicowe i odzysk ciepła odpadowego	335
4 Moduły dla kotłów parowych	343
5 Moduły do zasilania kotłów	363
6 Systemy sterowania	369
<b>Narzędzia</b>	<b>379</b>
1 Symbole	381
2 Przeliczniki dla jednostek miar	389
3 Paliwa	393
4 Woda-para: podstawowe zasady	399
5 Instalacje parowe	407
6 Inne	421



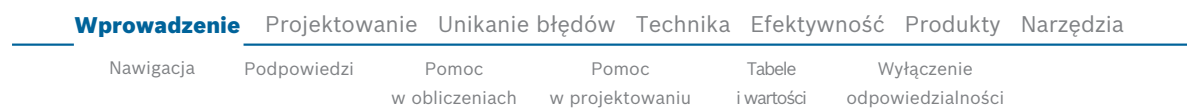


# Wprowadzenie

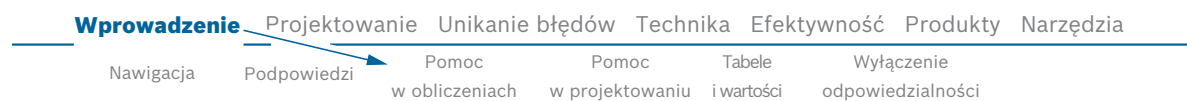
## Nawigacja

Prosta nawigacja umożliwia łatwe poruszanie się po poradniku. W nagłówkach stron są widoczne tytuły rozdziałów i podrozdziałów. Kliknięcie tytułu prowadzi automatycznie do żądanego rozdziału/podrozdziału. Kliknięcie tytułu rozdziału powoduje natychmiastowe wyświetlenie tytułów zawartych w nim podrozdziałów.

Aby ułatwić korzystanie z poradnika w papierowej wersji w nagłówku strony wyróżniono tytuł bieżącego rozdziału, a pod spodem wyszczególniono zawarte w nim podrozdziały.



**Ryc. 1** Rozdziały i podrozdziały



**Ryc. 2** Nawigacja po rozdziałach i podrozdziałach

## Podpowiedzi

Często na brzegach stron znajdują się podpowiedzi odsyłające do dalszych informacji lub objaśnień dotyczących zamieszczonych treści. W wersji elektronicznej wystarczy kliknąć podpowiedź, by od razu przejść do tych informacji. Osoby korzystające z papierowej wersji poradnika znajdą w polu podpowiedzi stosowny numer strony.

→ Rozdział: Produkty, strona 349



Ryc. 3 Podpowiedź

W niektórych miejscach zamieszczono odsyłacze do Raportów Branżowych – raporty można znaleźć na naszej stronie internetowej:

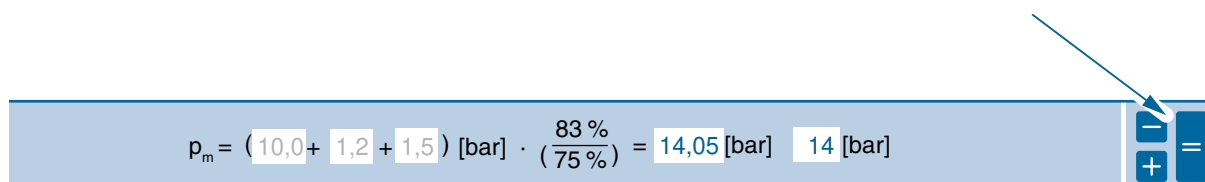
**[www.bosch-industrial.pl](http://www.bosch-industrial.pl); [www.loos.pl](http://www.loos.pl)**

Przywołane w treści poradnika Informacje Techniczne można znaleźć w zakładce:

**[www.bosch-industrial.pl](http://www.bosch-industrial.pl); [www.loos.pl](http://www.loos.pl)**

## Pomoc w obliczeniach

W wersji elektronicznej poradnika wzory matematyczne potrzebne do projektowania są interaktywne. Po wprowadzeniu wartości właściwych dla Państwa kotła automatycznie zostaje obliczony i od razu pokazany wynik. Nie trzeba żmudnie przepisywać wzorów ryzykując popełnieniem błędów.


$$p_m = (10,0 + 1,2 + 1,5) \text{ [bar]} \cdot \left( \frac{83\%}{75\%} \right) = 14,05 \text{ [bar]} \quad 14 \text{ [bar]}$$

Ryc. 4 Interaktywny wzór matematyczny

## Pomoc specjalistów Bosch w projektowaniu

Na początku rozdziału „Projektowanie“ znajdują się formularze do wypełnienia. Formularz uproszczony wymaga podania tylko podstawowych kryteriów dla projektowanej instalacji, natomiast w formularzu rozszerzonym trzeba podać szczegółowe informacje, w oparciu o które nasi specjaliści będą mogli precyzyjnie wskazać optymalne wyposażenie instalacji i oszacować koszty. Jednym kliknięciem odpowiedniego przycisku formularze można wysłać drogą elektroniczną, wydrukować lub zapisać w postaci pliku PDF. Gdy otrzymamy formularz, w krótkim terminie prześlemy Państwu wiążącą ofertę lub potrzebne informacje techniczne dotyczące kotłów.

→ Projektowanie – Rozdział 1: Podstawowe dane projektowe, formularze do projektowania, strona 19

## Tabele i wartości

W rozdziale „Narzędzia“ zamieszczono cały szereg przydatnych tabel i wykresów zawierających wartości często potrzebne w projektowaniu. Są one podlinkowane w stosownych rozdziałach/wzorach celem ułatwienia Państwu pracy.

→ Narzędzia, strona 379

## Wyłączenie odpowiedzialności

Techniczne informacje zawarte w niniejszym poradniku są zgodne z naszą najlepszą wiedzą i przekonaniem. Jeśli pomimo tego do tekstu wkradły się błędy lub treść budzi wątpliwości, prosimy powiadomić nas o tym. Bosch nie ponosi odpowiedzialności za prawidłowość treści zawartych w niniejszym poradniku ani za szkody powstałe w związku z korzystaniem z niego. W razie wątpliwości zawsze należy stosować się do instrukcji obsługi dostarczonej przez producenta kotła. Jeśli nie posiadają Państwo instrukcji obsługi swojego kotła Bosch/Loos, chętnie dostarczymy kopię z naszego archiwum. Prosimy zgłosić się do nas:

**info@bosch-industrial.pl**







# Projektowanie

<b>1</b>	<b>Podstawowe dane projektowe, formularze do projektowania</b>	<b>19</b>
1.1	Pytania służące opracowaniu projektu	19
1.2	Formularz uproszczony do projektowania instalacji kotłowej	22
1.3	Formularz rozszerzony do projektu instalacji kotłowej	24
<b>2</b>	<b>Ciśnienie</b>	<b>29</b>
2.1	Średnie ciśnienie robocze	29
2.2	Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze	33
<b>3</b>	<b>Zapotrzebowanie na parę</b>	<b>37</b>
3.1	Ustalenie zapotrzebowania na parę odbiorników	38
3.2	Ocena zapotrzebowania na parę odbiorników	49
3.3	Dobór kotła	51
<b>4</b>	<b>Paliwo</b>	<b>55</b>
4.1	Olej opałowy	56
4.2	Gaz ziemny	57
4.3	Kryteria wyboru paliwa: olej opałowy czy gaz ziemny?	58
4.4	Inne paliwa	59
<b>5</b>	<b>Ustawienie kotła</b>	<b>61</b>
5.1	Pomieszczenie ustawienia kotła	61
5.2	Warunki ustawienia kotła	64
<b>6</b>	<b>Prawo</b>	<b>65</b>
6.1	Wytwarzanie kotłów	67
6.2	Emisje i imisje	69
6.3	Instalacje paleniskowe	70
6.4	Pozwolenia	71
6.5	Eksploatacja	71

## Projektowanie

Elementarne znaczenie dla obliczenia właściwego ciśnienia pary i doboru kotła o optymalnej wydajności ma zebranie, udokumentowanie i w szczególności dokładne zbadanie informacji o wszystkich istotnych kryteriach użytkowania pary w ich wielkościach minimalnych i maksymalnych. Poza zebraniem i analizą tych danych projekt musi opierać się na rozważnej i dalekowzrocznej koncepcji. Wybiegające w przyszłość działania, które powinny być realizowane wspólnie przez użytkownika, projektanta, instalatora i producenta kotła, tworzą fundament dla niezawodnego funkcjonowania kotła parowego przez wiele lat. Podejmowane decyzje odnośnie poszczególnych elementów składowych kotłowni powinny stanowić wyważony kompromis między wydatkami na ich zakup i instalację i późniejszymi kosztami użytkowania. Szczególnie na uwadze należy mieć przystosowanie kotłowni już na etapie projektowania do ewentualnych modyfikacji w przyszłości w oparciu o dostępne wówczas nowe komponenty.

W tym rozdziale naświetlamy najważniejsze kryteria doboru kotła parowego: ciśnienie pary, zapotrzebowanie na parę, paliwo i przepisy prawne.

Oprócz wymogów stricte technicznych nie mniej ważną kwestią decydującą o wyborze kotła parowego jest jego oszczędne i przyjazne środowisku działanie. W rozdziale „Efektywność“ omawiamy komponenty kotłowni służące polepszeniu sprawności kotła.





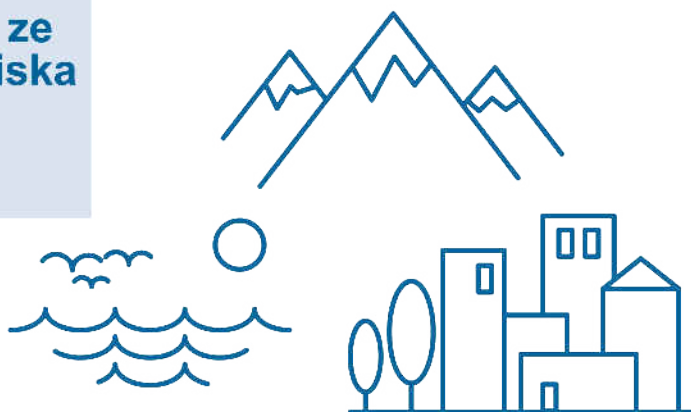


## Kryteria istotne dla projektu

- Woda
- Kondensat
- Paliwo
- Odbiorniki pary
- Użytkownik
- Środowisko
- Ustawienie kotła
- Przepisy prawne

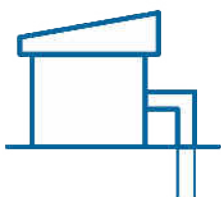
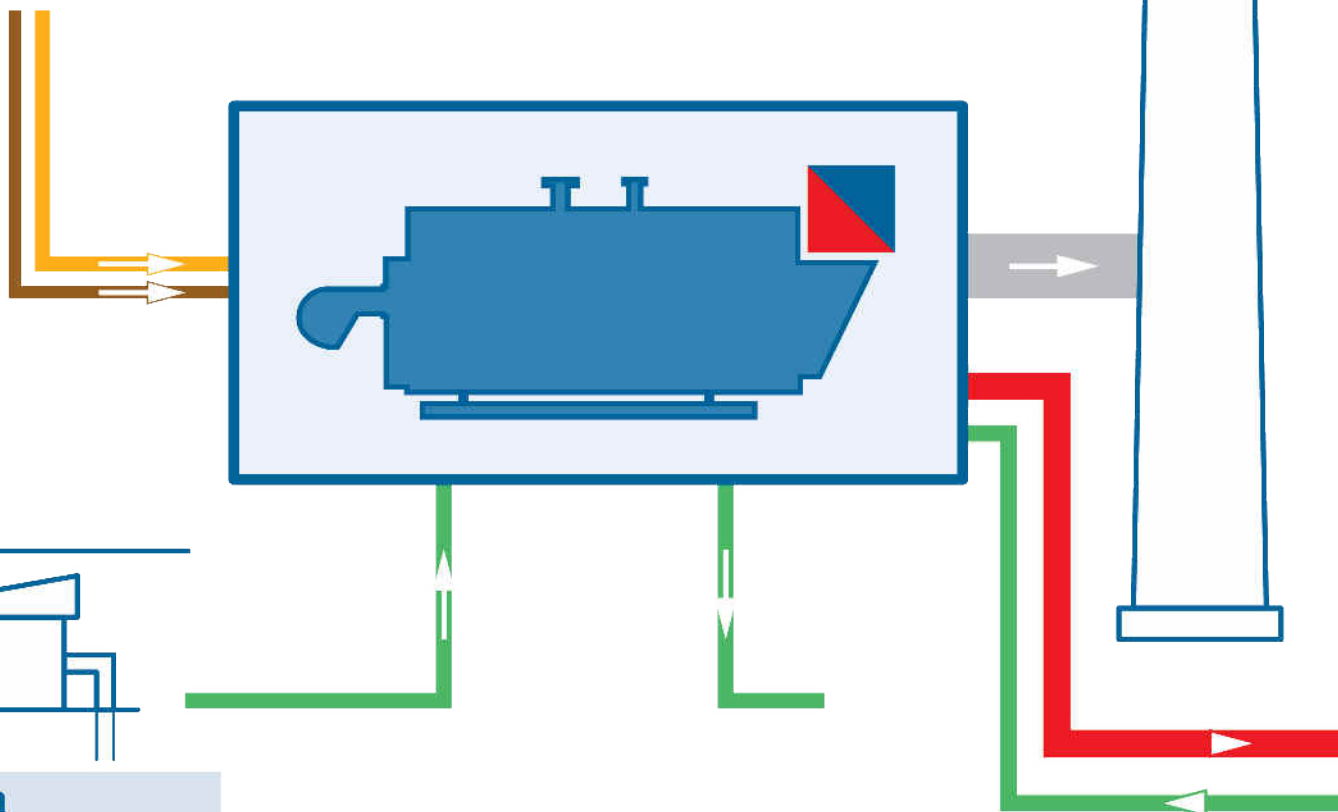
### Oddziaływanie ze strony środowiska

- Temperatura otoczenia
- Wilgotność powietrza
- Ciśnienie atmosferyczne



### Paliwo

- Dostępne paliwa
- Jakość
- Pewność dostaw



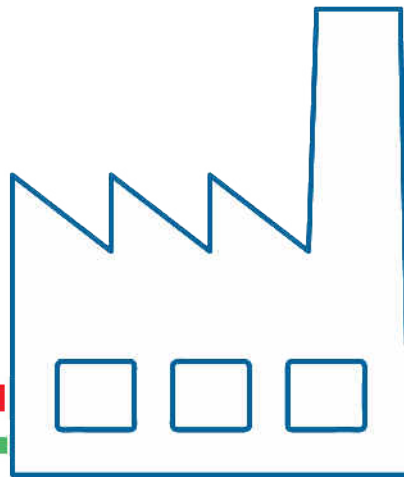
### Woda uzupełniająca

- Twardość
- Zasolenie



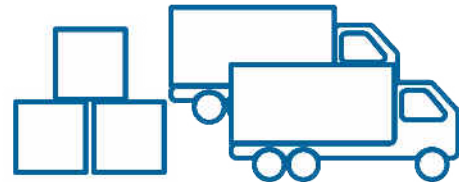
## Przepisy prawne

- Kraj użytkowania
- Pozwolenia
- Eksploatacja
- Emisja
  - szkodliwych gazów
  - hałasu



## Odbiorniki pary

- Ciężnienie robocze
- Zapotrzebowanie na parę
  - minimalne
  - normalne
  - szczytowe
  - dynamika zmian zapotrzebowania
- Jakość pary
  - wilgotność resztkowa
  - przegrzanie



## Kondensat

- Strumień
- Temperatura
- Ciężnienie
- pH
- Zanieczyszczenie



## Klient/użytkownik

- Zapewnienie ciągłości produkcji pary
- Możliwość modyfikacji kotłowni
- Efektywność energetyczna
- Niskoemisyjność
- Łatwość konserwacji
- Kontrola nad procesami
  - połączenie z systemem automatyzacji budynku/kotłowni
  - zdalny monitoring
  - pomiar określonych wartości
  - kontrola nad działaniem instalacji







# 1 Podstawowe dane projektowe, formularze do projektowania

## 1.1 Pytania służące opracowaniu projektu

Pytania postawione w dalszej części tego rozdziału będą pomocne przy projektowaniu i obliczeniach kotłowni parowej. Przydają się w uzyskaniu wstępnego rozeznania w sytuacji i sprawdzenia, czy uwzględniono wszystkie ewentualności przed finalnym zamknięciem projektu. Pytania z pewnością nie wyczerpują całości zagadnień związanych z projektowaniem instalacji kotłowej, ale ich konsekwentne i systematyczne analizowanie pozwala uniknąć często spotykanych błędów.

Jeśli po zamknięciu projektu któraś z kwestii poruszonych w pytaniach pozostaje niewyjaśniona, pomocne w ich rozwiązaniu mogą być dodatkowe informacje zawarte w rozdziałach podlinkowanych bezpośrednio pod pytaniami.

### 1.1.1 Ciśnienie pary

- Czy zakładany zapas ciśnienia nie jest niepotrzebnie zawyżony w stosunku do średniego ciśnienia roboczego? Wyższy zapas ciśnienia należy przyjąć tylko do ustalenia najwyższego dopuszczalnego ciśnienia roboczego..

→ Projektowanie – Rozdział 2: Ciśnienie, strona 29

### 1.1.2 Zapotrzebowanie na parę

- Czy uwzględniono wszystkie odbiory pary (obecne i przewidywane w niedalekiej przyszłości, zapotrzebowanie na potrzeby własne kotłowni) oraz oszacowano/zlokalizowano wszystkie straty energii (rurociągi, armatury, zbiorniki)?
- Czy dokładnie zbadano rzeczywiste zapotrzebowanie na parę i zakładane rezerwy? Należy unikać zbędnych rezerw i zawyżania mocy kotłowni!
- Czy przeanalizowano wszystkie odbiory pary? Czy występuje jednoczesność zużycia pary przez kilka odbiorników? Jakie jest rzeczywiste maksymalne jednoczesne zapotrzebowanie na parę ze strony wszystkich odbiorników?
- Czy z analizy zużycia pary widać, jak i dlaczego następuje podział łącznej mocy na poszczególne jednostki kotłowe?
- Czy projektowany kocioł ma odpowiednio duży zakres regulacji, aby móc obsługiwać wszystkie przewidywane wahania obciążenia bez częstych włączeń i wyłączeń palnika?
- Jaki jest profil obciążenia/roczne zapotrzebowanie na parę (do dokładnych szacunków amortyzacji kosztów zakupu dodatkowych urządzeń do odzysku ciepła)?

→ Projektowanie – Rozdział 3: Zapotrzebowanie na parę, strona 37

### 1.1.3 Jakość pary

- Czy są szczególne wymagania dla pary (np. suchość pary, styczność z żywnością, para przegrzana)?

→ Technika – Rozdział 1: Para, strona 105

#### 1.1.4 Woda i kondensat

- Czy są znane wyniki analiz wody? Czy trzeba liczyć się np. z sezonowymi różnicami w jakości wody?
- Czy dokładnie przemyślano, jaki sposób przygotowania wody będzie najodpowiedniejszy? Czy porównano koszty samego tylko zmiękczenia i odwróconej osmozy? Czy celowe wydaje się zainstalowanie automatycznego analizatora wody?
- Czy lepiej sprawdzi się częściowe czy całkowite odgazowanie?
- Jaka ilość kondensatu może powracać do kotłowni? Jakie ciśnienie i temperaturę będzie mieć powracający kondensat?
- Czy zachodzi ryzyko zanieczyszczenia kondensatu tłuszczami/olejami bądź innymi substancjami szkodliwymi dla instalacji kotłowej (np. przez nieszczelne wymienniki ciepła)? Jeżeli tak, konieczny będzie monitoring kondensatu.

→ Technika – Rozdział 4: Kotłownia, strona 177

#### 1.1.5 Paliwo

- Jakie paliwa mogą być używane na miejscu?
- Czy znane są jakości paliw i skale wahań ich parametrów?
- Czy jest znane ciśnienie gazu? Spadek ciśnienia gazu w okresach wysokiego zużycia może spowodować problemy. Różnica rzeczywistego ciśnienia gazu od wielkości obliczeniowej może stać się przyczyną dodatkowych kosztów.
- Czy będzie używany olej ciężki bądź inne paliwo o wyższej lepkości lub zasiarczeniu? W niektórych sytuacjach może być potrzebne specjalne wyposażenie (np. podgrzewanie oleju, ekonomizer wolnostojący z obejściem spalin).

→ Projektowanie – Rozdział 4: Paliwo, strona 55

#### 1.1.6 Efektywność energetyczna

- Jak duże znaczenie ma efektywność energetyczna i w jakim maksymalnym okresie czasu miałyby zamortyzować się inwestycja w urządzenia służące oszczędzaniu energii?
- Czy planuje się działania w zakresie zwiększenia efektywności energetycznej i odzysku ciepła odpadowego? Czy zbadano płynące z nich korzyści finansowe i oszczędności zasobów?

→ Efektywność – Rozdział 1: Podstawy, strona 245



### 1.1.7 Użytkownik

- Jak rygorystyczne są wymagania odnośnie zapewnienia ciągłości dostaw ciepła? Czy jest wymagana redundancja kotłów, częściowa lub pełna? Czy kotły mają być wyposażone w osprzęt do spalania różnych rodzajów paliw?
- Czy prawdopodobne jest zwiększenie zapotrzebowania na parę w najbliższych latach? Jeżeli tak, już teraz należy zaprojektować np. wydajność systemu wody zasilającej pod kątem przyszłych wymagań i zarezerwować odpowiednią ilość miejsca w kotłowni.
- Jak wysokie są dyspozycyjność i kwalifikacje personelu obsługi? Czy celowa wydaje się automatyzacja określonych procesów?
- Czy kotłownia ma być połączona z systemem automatyzacji budynku?

→ Projektowanie – Rozdział 3: Zapotrzebowanie na parę, strona 37

### 1.1.8 Lokalizacja kotłowni

- Czy kotłownia jest zlokalizowana w pobliżu wybrzeża?
- Czy kotłownia jest zlokalizowana w rejonie występowania trzęsień ziemi i kocioł musi być zakotwiony/ zabezpieczony w szczególny sposób?
- Czy są szczególne wymagania dotyczące emisji hałasu lub szkodliwych zanieczyszczeń (np. lokalizacja w pobliżu osiedla mieszkaniowego albo na obszarze ochrony powietrza lub wody)?

→ Projektowanie – Rozdział 5: Ustawienie kotła, strona 61

### 1.1.9 Budynek/pomieszczenie kotłowni

- Czy są dostatecznie duże otwory do wprowadzenia kotła?
- Czy fundament ma dostateczną nośność pod kocioł wypełniony wodą?
- Czy przewidziano otwory nawiewne i wywiewne w odpowiednich miejscach w dostatecznej liczbie i wielkości?
- Czy przewidziano wymagane wyłączniki awaryjne wewnątrz i na zewnątrz kotłowni?
- Czy jest zachowana wystarczająca przestrzeń na dostęp do otworów rewizyjnych (od strony wody i spalin), obejście kotła, demontaż komponentów (palnika) itd.?

→ Projektowanie – Rozdział 5: Ustawienie kotła, strona 61

### 1.1.10 Przewody rurowe

- Czy ściany i sufit mają wystarczającą nośność do wytrzymania sił wywieranych przez rury?
- Czy prawidłowo wymiarowano wszystkie przewody rurowe? W szczególności dotyczy to przewodów wydmuchowych z zaworów bezpieczeństwa, odpowietrzających, oparów i kondensatu.
- Czy unika się niedozwolonego wspólnego prowadzenia przewodów?
- Czy przewody parowe są układane ze spadkiem i prawidłowym odwodnieniem?
- Czy jest możliwe zastosowanie elementów izolacji akustycznej?

→ Technika – Rozdział 5: Peryferia, strona 213

### 1.1.11 Prawo

- Czy przy projektowaniu uwzględniono w pełni przepisy stosownych ustaw, rozporządzeń i innych aktów prawnych:
  - w odniesieniu do emisji i immisji, w szczególności spalin i wody,
  - w odniesieniu do uzyskania pozwoleń i zezwoleń na eksploatację. Czy organ wydający pozwolenie został zawiadomiony ze stosownym wyprzedzeniem i czy wniosek o pozwolenie został złożony we właściwym terminie? Czy poinformowano instytucje odpowiedzialne za odbiór instalacji?
  - w odniesieniu do obowiązków użytkownika, w szczególności bhp i bezpieczeństwa użytkownika sprzętu roboczego. Czy sporządzono ocenę ryzyka dla instalacji kotłowej?
  - w odniesieniu do powiadomienia właściwych zewnętrznych jednostek inspekcyjnych ze stosownym wyprzedzeniem.

→ Projektowanie – Rozdział 6: Prawo, strona 65

## 1.2 Formularz uproszczony do projektowania instalacji kotłowej

W praktyce przy projektowaniu instalacji przed szczegółowym opracowaniem projektu często jest potrzebne szybkie rozeznanie w orientacyjnych kosztach czy wykonanie modeli 3D. W tym miejscu zamieszczamy formularz, przy użyciu którego mogą Państwo błyskawicznie i łatwo skontaktować się z naszymi inżynierami, którzy służą pomocą przy opracowaniu projektu.

Wypełniony formularz należy wysłać

- drogą elektroniczną: [info@bosch-industrial.pl](mailto:info@bosch-industrial.pl) lub
- faksem: **22 562 90 99**.





## Formularz uproszczony do projektu instalacji kotłowej

### Krótkie zestawienie najważniejszych parametrów instalacji

**Zapotrzebowanie na parę:** wskazuje, ile potrzeba kilogramów/ton pary na godzinę. Uwaga: często przy obliczaniu zapotrzebowania na parę zapomina się o zapotrzebowaniu na potrzeby własne kotłowni.

Zapotrzebowanie na parę = wydajność kotła – zapotrzebowanie na potrzeby własne kotłowni

Wymagane zapotrzebowanie na parę:  kg/godz.

Potrzeby własne na przygotowanie wody zasilającej wahają się w granicach 5 – 20 % wydajności kotła. Odzysk ciepła odpadowego pozwala mocno zredukować tę ilość.

Czy szczyty zużycia pary są chwilowe, czy kocioł musi pracować pełną mocą przez dłuższy czas? Korzystanie z akumulatora pary pozwala niekiedy na wybór mniejszego kotła (oszczędność kosztów).

- Rzadkie szczyty  
 Pełna moc przez dłuższy czas

**Ciśnienie:** najważniejszym kryterium w projekcie jest średnie ciśnienie robocze. Ciśnienie zadziałania zaworu bezpieczeństwa kotła jest zawsze wyższe niż ciśnienie robocze.

Średnie ciśnienie robocze:  bar

**Paliwo:** w zależności od kryteriów wyboru paliwa kocioł można wyposażyć w osprzęt do spalania różnych paliw. Takie rozwiązanie będzie korzystne wtedy, gdy kocioł ma zapewniać ciągłą dostawę ciepła albo na miejscu są dostępne paliwa dodatkowe, np. biogaz.

#### Podstawowe paliwo:

- gaz ziemny  olej lekki  etanol  
 E  LL  olej ciężki  tłuszcz zwierzęce  
 biogaz  olej napędowy

#### Zewnętrzne źródła ciepła odpadowego:

- tak  nie



Wyślij formularz



Drukuj

### 1.3 Formularz rozszerzony do projektu instalacji kotłowej

Im więcej szczegółowych danych zawiera opis projektowanej instalacji, tym dokładniej można oszacować jej koszt i zaplanować zakres techniczny. Oprócz formularza uproszczonego (w poprzednim podrozdziale) w naszym poradniku zamieszczamy także formularz w wersji rozszerzonej zawierający obszerne informacje, które pozwolą nam dostarczyć Państwu dodatkowo do dokumentacji technicznej także modele 3D.

Wypełniony formularz należy wysłać

- drogą elektroniczną: [info@bosch-industrial.pl](mailto:info@bosch-industrial.pl) lub
- faksem: **22 562 90 99**.



## Formularz rozszerzony do projektowania I

Peryferia kotła parowego mają znaczący udział w kosztach zużycia energii, świeżej wody, środków chemicznych, wydatkach na instalację i konserwację.

**Zapotrzebowanie na parę:** przy wyborze wielkości kotła trzeba także wziąć pod uwagę energię zużywaną przez sam kocioł na podgrzewanie i odgazowanie wody zasilającej. Po zużyciu energii na własne potrzeby kocioł musi jeszcze oddać wymaganą ilość pary do sieci. Powszechnie spotyka się przewymiarowanie kotłów, co pociąga za sobą zbędne dodatkowe koszty eksploatacji. Niekiedy wystarczy wykorzystać akumulator pary, by zainstalować mniejszy (korzystniejszy cenowo) kocioł.

Wymagane maks. zapotrzebowanie na parę:	<input type="text"/>	kg/godz.
alternatywnie:	<input type="text"/>	BTU
<b>Opcjonalnie:</b> zapotrzebowanie na parę wliczając potrzeby własne kotłowni	<input type="text"/>	kg/godz.
Chwilowe szczyty zużycia, które mogą być pokryte przez akumulator pary?	<input type="checkbox"/> tak, szczegóły:	<input type="text"/>
	<input type="checkbox"/> nie	

**Para:** nie jest zawsze taka sama. W zależności od przeznaczenia musi posiadać określone właściwości chemiczne lub określoną suchość.

<b>Charakterystyka pary:</b>	Średnie ciśnienie robocze:	<input type="text"/>	bar
<input type="checkbox"/> Para nasycona	Wilgotność reszkowa:	<input type="text"/>	%
<input type="checkbox"/> Pożądany osuszacz pary (dla wilgotności reszkowej < 3%)			
<input type="checkbox"/> Para przegrzana	Temperatura:	<input type="text"/>	°C
Para ma styczność np. z żywnością?	<input type="checkbox"/> tak, szczegóły:	<input type="text"/>	
	<input type="checkbox"/> nie		

**Miejsce ustawienia i warunki pracy kotła:** lokalne przepisy obowiązujące w kraju użytkowania kotła i warunki otoczenia w miejscu zainstalowania kotłowni mają znaczący wpływ na kocioł i procesy spalania. Czy znają Państwo szczegóły?

Kraj użytkowania kotła:	<input type="text"/>	Wysokość n.p.m.:	<input type="text"/>	m
Temperatura min. (zima):	<input type="text"/>	°C	maks. (lato):	<input type="text"/>
				°C
Kocioł znajduje się na zewnątrz?	<input type="checkbox"/> tak	<input type="checkbox"/> nie	<input type="checkbox"/> w kontenerze	
(potrzebna izolacja chroniąca przed działaniem wody i czynników atmosferycznych)				
Napięcie elektryczne	<input type="text"/>	Ilość faz	<input type="text"/>	Częstotliwość
			<input type="text"/>	Hz

## Formularz rozszerzony do projektowania II

Mniejsze koszty inwestycji, wyższa efektywność i niezawodność to tylko niektóre z korzyści płynących ze starannego projektowania.

**Spaliny:** Dopuszcz. wartość NOx:  mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>  Wartość nieznana

### Paliwo:

Gaz ziemny	Olej	Inne
<input type="checkbox"/> gaz E <input type="checkbox"/> gaz LL	<input type="checkbox"/> olej opałowy lekki	<input type="checkbox"/> Tłuszcze zwierzęce
<input type="checkbox"/> LPG, liczba gazów: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> olej opał. o małej zaw. siarki	<input type="checkbox"/> Olej rybny
<input type="checkbox"/> propan <input type="checkbox"/> butan	<input type="checkbox"/> olej opałowy średni/ciężki	<input type="checkbox"/> Etanol
<input type="checkbox"/> propan-butan	Zawartość siarki: <input type="text"/> %	<input type="checkbox"/> Biogaz
Ciśnienie gazu: <input type="text"/> mbar	Wart. opałowa: <input type="text"/> kWh/kg	<input type="checkbox"/> Gaz z oczyszczalni
Wart. opałowa: <input type="text"/> kWh/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/> jest podgrzewanie oleju	<input type="checkbox"/> Inne:
Cena gazu: <input type="text"/> PLN/m <sup>3</sup>	Lepkość oleju: <input type="text"/> mm <sup>2</sup> /s	<input type="text"/>
	w temperaturze: <input type="text"/> °C	
	Cena oleju: <input type="text"/> PLN/kg	

### Spalanie wielopaliwowe: dodatki do paliw głównych

<input type="checkbox"/> Biogaz	Siarkowodór: <input type="text"/> mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	Metan: <input type="text"/> %
<input type="checkbox"/> Gaz z oczyszczalni	Właściwości: <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> Inne gazy opałowe	Szczegóły: <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> Inne oleje/tłuszcze/...	Ilość: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Dostępność całoroczna
<input type="checkbox"/> Stała dostępność		

### Wykorzystanie ciepła odpadowego: ze spalin z modułów kogeneracyjnych, turbin gazowych, procesów technologicznych itd.

<input type="checkbox"/> Spaliny z modułów kogeneracyjnych	<input type="checkbox"/> Spaliny z turbin gazowych	<input type="checkbox"/> Inne spaliny
Strumień masowy: <input type="text"/> kg/h	Temperatura: <input type="text"/> °C	
Dopuszczalny spadek ciśnienia: <input type="text"/> mbar		

### Wykorzystanie kondensatu przy pełnym obciążeniu (moc znamionowa)

<input type="checkbox"/> Odtleniony	<input type="checkbox"/> zawierający tlen	<input type="checkbox"/> ciśnieniowy
Ilość: <input type="text"/> kg/h	Ilość: <input type="text"/> kg/h	Ilość: <input type="text"/> kg/h
Ciśnienie: <input type="text"/> bar	Ciśnienie: <input type="text"/> bar	Ciśnienie: <input type="text"/> bar
Temperatura: <input type="text"/> °C	Temperatura: <input type="text"/> °C	Temperatura: <input type="text"/> °C



## Formularz rozszerzony do projektowania III

Odzyskane ciepło odpadowe może być wykorzystane na potrzeby własne kotłowni, przez co znacznie obniża się zużycie energii.

**Odzysk ciepła odpadowego:** duże ilości traconego ciepła można odzyskać. Z reguły ciepło jest oddawane przez gorące spaliny, ścieki i opary, a odbierane przez wodę zasilającą, wodę uzupełniającą, wodę technologiczną lub powietrze do spalania.

Odzysk ciepła może być realizowany przez:

- |                                                                                         |                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ekonomizer (odzysk ciepła ze spalin)                           | <input type="checkbox"/> moduł odzysku ciepła z odsolin                                  |
| <input type="checkbox"/> wymiennik ciepła kondensacyjny                                 | <input type="checkbox"/> chłodnicę oparów                                                |
| <input type="checkbox"/> chłodnicę wody zasilającą<br>(podnosi efektywność ekonomizera) | <input type="checkbox"/> sondę O <sub>2</sub> /CO<br>(pomaga zmniejszyć stratę kominową) |
| <input type="checkbox"/> układ podgrzewu powietrza<br>(podgrzewa powietrze do spalania) |                                                                                          |

**Obniżenie kosztów zużycia energii elektrycznej:** często w starszych kotłach wentylatory palników i pompy pracują stale na najwyższych obrotach, również w fazach niskiego obciążenia kotła. Wentylatory i pompy z regulowaną prędkością obrotową mogą zużywać nawet do 75 % mniej energii elektrycznej.

Wentylator palnika z regulowaną prędkością obrotową:

tak  nie

Pompy z regulowaną prędkością obrotową:

tak  nie

**Jakość świeżej wody:** jakość świeżej wody ma elementarne znaczenie dla raty odsalania kotła parowego. Zmniejszenie strumienia odsolin do minimum wymaganego ze względów technologicznych może przynieść znaczące obniżenie kosztów zużycia energii.

Kwas krzemowy:  mg/l

Przewodność:  μS/cm

Twardość węglanowa:  °dH



Wyślij formularz



Drukuj







## 2 Ciśnienie

### Nadciśnienie i ciśnienie absolutne

W technice kotłowej zazwyczaj każde podawane ciśnienie należy traktować jako nadciśnienie względem ciśnienia atmosferycznego wynoszącego 1 bar.

Jednostką stosowaną dla określenia ciśnienia jest [bar] bądź ewentualnie [barg].

Nadciśnienie przelicza się na ciśnienie absolutne według wzoru:

$$p_{\text{abs}} = p + 1,01325 \text{ bar}$$



**Wzór 1** *Przeliczenie nadciśnienia na ciśnienie absolutne*

### Warunki normalne i warunki standardowe

#### Warunki normalne (DIN 1343):

$$p_n = 101\,325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar} = 1 \text{ atm}$$

$$T_n = 273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$$

#### Warunki standardowe (STP, IUPAC):

$$p^\circ = 100\,000 \text{ Pa} = 1,0 \text{ bar}$$

$$T^\circ = 273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$$

#### Stan standardowy (SATP, IUPAC):

$$p^\circ = 100\,000 \text{ Pa} = 1,0 \text{ bar}$$

$$T^\circ = 298,15 \text{ K} = 25 \text{ °C}$$



**Wzór 2** *Warunki normalne i warunki standardowe*

### 2.1 Średnie ciśnienie robocze

W systemie kotła parowego ciśnienie robocze nie jest wielkością stałą, ale fluktuuje wokół średniego ciśnienia roboczego  $p_{\text{sr}}$ . Wynika to z faktu, że ciśnienie robocze w kotle parowym służy za wielkość wyjściową do regulacji mocy kotła i stąd zawsze ulega wahaniom o ok.  $\pm 10\%$  wartości średniego ciśnienia roboczego ustawionego na kotle.



Ryc. 5 Przebieg ciśnienia w czasie (sterowanie kotłem BCO)

### Założenia do obliczenia średniego ciśnienia roboczego

Przy obliczaniu potrzebnego średniego ciśnienia roboczego  $p_{sr}$  trzeba wziąć pod uwagę następujące aspekty:

- **Potrzebne ciśnienie/temperatura pary na odbiorach**

Dla ustalenia średniego ciśnienia roboczego  $p_{sr}$  trzeba określić wymagane ciśnienie/temperaturę pary na odbiorach. Do obliczenia średniego ciśnienia roboczego należy ustalić maksymalne ciśnienie pary  $p_{max,odb}$  na odbiorach.

W oparciu o zależność temperatury wrzenia od ciśnienia można obliczyć posługując się tablicą pary wymagane ciśnienie na odbiorach przy znanej temperaturze wody w kotle.

→ Ryc. 37, strona 111

$$p_{max,odb} = p_{wrz}(T_{max,odb})$$



Wzór 3 Maksymalne wymagane ciśnienie i temperatura pary na odbiorze

$p_{max,odb}$	Maksymalne wymagane ciśnienie pary na odbiorze
$p_{wrz}(T_{max,odb})$	Ciśnienie wrzenia przy maksymalnej wymaganej temperaturze
$T_{max,odb}$	Maksymalna wymagana temperatura pary na odbiorze



### • Straty ciśnienia

Dodatkowo trzeba uwzględnić straty powstające przy przesyłce pary rurociągiem od kotła do odbiorników, straty na armaturach w przewodzie parowym i straty na ewentualnie zainstalowanych stacjach redukcji ciśnienia pary.

→ Narzędzia – Rozdział 5.4.4: Straty ciśnienia – Wartości orientacyjne współczynnika strat ciśnienia  $\zeta$ , strona 413

Jeżeli odbiorniki wymagają pary o różnych ciśnieniach (różnica > 3 bar) albo pary o stałym ciśnieniu z bardzo dużą dokładnością, która nie może być zapewniona poprzez regulację mocy kotła, precyzyjna regulacja ciśnienia pary na odbiorach powinna być realizowana nie przez sterowanie kotła, ale przez stacje redukcji ciśnienia zainstalowane między kotłem i odbiornikami. Stacje redukcji ciśnienia pozwalają na regulację ciśnienia pary indywidualnie dla odbiorników niezależnie od regulacji mocy kotła.

### Obliczanie średniego ciśnienia roboczego

Średnie ciśnienie robocze  $p_{sr}$  kotła parowego oblicza się z uwzględnieniem maksymalnej odchyłki regulacji według wzoru:

$$p_{sr} = (p_{max, odb} + \Delta p_{rur} + \Delta p_a) \cdot \left( \frac{83\%}{75\%} \right)$$



#### Wzór 4 Obliczanie średniego ciśnienia roboczego

$p_{sr}$	Średnie ciśnienie robocze [bar]
$p_{max, odb}$	Maksymalne wymagane ciśnienie na odbiorze [bar]
$\Delta p_{rur}$	Straty ciśnienia na przesyłce rurociągiem [bar]
$\Delta p_a$	Straty ciśnienia na armaturach i regulatorach ciśnienia [bar]
75 %	Dolny poziom regulacji mocy w odniesieniu do maks. dopuszczalnego ciśnienia kotła
83 %	Średni poziom regulacji mocy w odniesieniu do maks. dopuszczalnego ciśnienia kotła

$$p_{sr} = (10,0 + 2,0 + 3,0) \text{ [bar]} \cdot \left( \frac{83\%}{75\%} \right) = 16,60 \text{ [bar]} \approx 17 \text{ [bar]}$$



#### Przykl. 1 Obliczenie średniego ciśnienia roboczego

### Ustawianie i zmiana średniego ciśnienia roboczego

Średnie ciśnienie robocze  $p_{sr}$  kotła parowego można ustawić przy rozruchu i w trakcie eksploatacji na panelu sterowania w szafie sterowniczej kotła lub zadać z systemu automatyzacji budynku.

### Bezpieczeństwo podczas projektowania

W tych obliczeniach nie należy zawyżać ciśnienia w celach bezpieczeństwa, ponieważ mają one odzwierciedlać rzeczywiste warunki pracy kotła.

Konsekwencją zawyżenia średniego ciśnienia roboczego może być większa gęstość pary nasyconej, dla której zwymiarowane przekroje przewodów parowych i armatur mogłyby okazać się za małe.

Ciśnienie bezpieczeństwa powinno się uwzględnić przy ustalaniu maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego.



### Obniżone ciśnienie robocze

Dla uzyskania jak najlepszej efektywności energetycznej moc kotła należy precyzyjnie dostosować do aktualnego rzeczywistego zapotrzebowania na parę. Taką sytuacją jest obniżenie ciśnienia roboczego kotła na weekend, by zminimalizować straty ciepła przez promieniowanie.

Ciśnienie robocze nie może być jednak obniżane zupełnie dowolnie. Zmniejszenie ciśnienia do zbyt niskiego poziomu może skutkować wystąpieniem negatywnych zjawisk:

- kawitacji w pompach wskutek niedostatecznego dławienia,
- niestabilnej pracy pomp,
- spadku wydajności pomp.

Duża prędkość pary wskutek zmniejszenia jej gęstości może również mieć szereg negatywnych skutków, takich jak:

- erozja armatur i kolan rurowych,
- zbyt głośny hałas związany z przepływem pary,
- wzmożone porywanie wody kotłowej przez parę.

Wobec powyższego minimalne dopuszczalne ciśnienie robocze jest fabrycznie ograniczone do połowy projektowanego ciśnienia roboczego.

Minimalne średnie ciśnienie robocze kotła parowego wysokociśnieniowego nie powinno być niższe niż 5 bar. Para ma przy małym ciśnieniu dużą objętość właściwą, w związku z czym armatury i przewody parowe musiałyby mieć ogromne rozmiary.



## 2.2 Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze

Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze kotła jest warunkowane konstrukcją i wytrzymałością materiałów użytych do budowy kotła.

Informacja o maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu jest podana przez producenta na tabliczce znamionowej kotła, w dokumentacji dołączonej do kotła i w dokumentach odbioru. Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze musi być ograniczane przez zawór bezpieczeństwa na kotle. Zawór bezpieczeństwa otwiera się w chwili osiągnięcia przez ciśnienie maksymalnej dopuszczalnej wartości, uniemożliwiając dalszy wzrost ciśnienia w kotle. Gdy ciśnienie w kotle spadnie do bezpiecznego poziomu zawór ponownie się zamyka.

Dla zapewnienia niezawodności działania zaworu bezpieczeństwa i uniknięcia zadziałania zaworu w trakcie normalnej pracy kotła oraz rozszczelnienia zaworu ciśnienie w kotle parowym jest podzielone na stopnie:

Stopnie ciśnienia	Wzór	Wartość	Jednostka
Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze (ciśnienie zadziałania zaworu bezpieczeństwa)	$p_{\max, \text{dop}} = p_{\text{zaw, bezp}} \triangleq 100 \%$	$\geq 24,1$	[bar]
Ogranicznik ciśnienia	$p_{\text{ogr, ciśn}} \triangleq p_{\max, \text{dop}} \cdot 95 \%$	$= 22,9$	[bar]
Ciśnienie wyłączeniowe palnika	$p_{\text{wyl, pal}} \triangleq p_{\max, \text{dop}} \cdot 91 \%$	$= 21,9$	[bar]
Średnie ciśnienie robocze	$p_{\text{śr}} \triangleq p_{\max, \text{dop}} \cdot 83 \%$	$= 20,0$	[bar]
Ciśnienie włączeniowe palnika	$p_{\text{wl, pal}} \triangleq p_{\max, \text{dop}} \cdot 75 \%$	$= 18,1$	[bar]
Wartość standardowa dla podtrzymania ciepła przez węzownicę = średnie ciśnienie robocze / 2	$p_{\text{podtrz}} \triangleq p_{\text{śr}} \cdot \sim 50 \% \cong 42 \%$	$= 10,1$	[bar]

**Tab. 1** Stopnie ciśnienia roboczego (procentowo w odniesieniu do maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego)

Stąd wynikają:

- minimalna wartość wymaganego maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego  $p_{\max, \text{dop}}$  kotła ze średniego ciśnienia roboczego  $p_{\text{śr}}$ , które zostało wyliczone na bazie kryteriów eksploatacyjnych

$$p_{\max, \text{dop}} = p_{\text{zaw, bezp}} \geq \frac{p_{\text{śr}}}{83 \%}$$

**Wzór 5** Wzór na obliczenie minimalnego wymaganego maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego.

$$p_{\max, \text{dop}} = p_{\text{zaw, bezp}} \geq \frac{13,0 \text{ [bar]}}{83 \%} = 15,7 \text{ [bar]}$$

**Przykł. 2** Przykład obliczenia minimalnego wymaganego maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego

- maksymalna wartość średniego ciśnienia roboczego  $p_{\text{śr, max}}$  kotła z maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego  $p_{\max, \text{dop}}$  kotła

$$p_{\text{śr, max}} \leq p_{\max, \text{dop}} \cdot 83 \% = p_{\text{zaw, bezp}} \cdot 83 \%$$

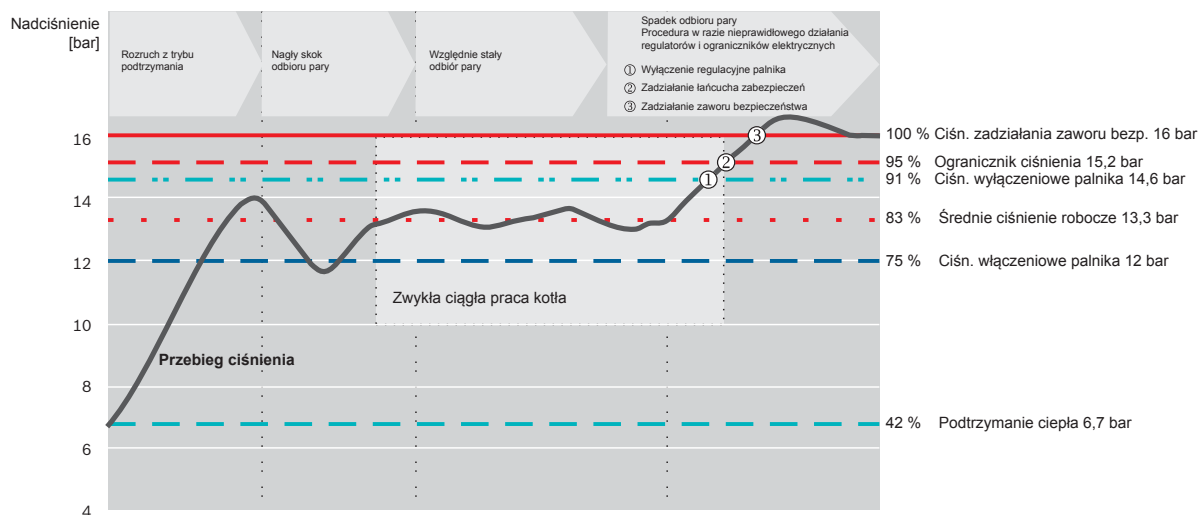
**Wzór 6** Wzór na obliczenie maksymalnego średniego ciśnienia roboczego



$$p_{\text{sr,max}} \leq 16,0 \text{ [bar]} \cdot 83 \% = 13,3 \text{ [bar]}$$



**Przykł. 3** Przykład obliczenia maksymalnego średniego ciśnienia roboczego



**Ryc. 6** Wykres przebiegu ciśnienia z ciśnieniami w/wył palnika dla kotła parowego ze średnim ciśnieniem roboczym 13,3 bar

W sterowaniu kotła można w dopuszczalnych granicach wybrać także inne systemy stopniowania średniego ciśnienia roboczego.

### Inne części składowe instalacji

Oprócz obliczeń dla samego kotła należy też pamiętać o obliczeniu maksymalnych dopuszczalnych ciśnień roboczych i maksymalnych dopuszczalnych temperatur dla wszystkich bezpośrednio połączonych z kotłem elementów instalacji, podzespołów, układów i modułów (armatur, czujników, przewodów rurowych, uszczelek, przyrządów itd.).

→ Zależność ciśnienie/temperatura dla kołnierzy wg EN 1092-1

### Bezpieczeństwo podczas projektowania

Różnica między ustalonym  $p_{\text{max,dop}}$  i maksymalnym dopuszczalnym nadciśnieniem dla kolejnego wyższego zakresu ciśnienia kotła może już być uznana za bezpieczne projektowanie.

Jeżeli zachodzi potrzeba zachowania dodatkowego bezpieczeństwa w odniesieniu do zakresu ciśnienia, można je zapewnić wybierając odpowiednio wyższy stopień ciśnienia kotła.



Jeżeli w sieci występują odbiorniki pary, które mają mniejsze dopuszczalne ciśnienie robocze niż kocioł, to muszą one być chronione przed zbyt wysokim ciśnieniem przez własne zawory bezpieczeństwa lub przez stacje redukcji ciśnienia z zaworami bezpieczeństwa zainstalowane między nimi i kotłem.







### 3 Zapotrzebowanie na parę

Zapotrzebowanie na parę poszczególnych odbiorników jest najważniejszym kryterium dla projektu kotłowni parowej. Niemniej jednak należy również wziąć pod uwagę zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni, głównie do podgrzewania i odgazowywania wody uzupełniającej i kondensatu, a także energię ciepłą traconą przez odsalanie i podczas transportu pary rurociągami przesyłowymi.

Obliczając wymagane zapotrzebowanie na parę instalacji kotłowej trzeba dodatkowo uwzględnić takie czynniki jak jednoczesny maksymalny pobór pary przez poszczególne odbiorniki, maksymalną szybkość zmian obciążenia i aspekty często trudne lub niemożliwe wręcz do ujęcia w ramy czysto techniczne, jak na przykład pewność dostaw czy ewentualna rozbudowa instalacji parowej.

Poniższy wykres przedstawia typowy rozkład zapotrzebowania na parę. Obliczanie dokładnego zapotrzebowania na parę odbiorników występujących w konkretnej instalacji parowej jest opisane w kolejnym rozdziale.



Ryc. 7 Rozkład zużycia wytworzonej przez kocioł pary (wartości przykładowe)

## Objaśnienie symboli

Symbol	Jednostka	Objaśnienie
$\dot{m}_{para}$	[kg/h]	Zapotrzebowanie na parę; strumień pary
$\dot{m}_{para,odb.bezp}$	[kg/h]	Strumień pary dla odbiorników bezpośrednich
$\dot{m}_{para,odb.pośr}$	[kg/h]	Strumień pary dla odbiorników pośrednich
$\dot{m}_{para,rozpr}$	[kg/h]	Strumień pary wtórnej z rozprężania kondensatu
$\dot{m}_{para,wt}$	[kg/h]	Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni
$\dot{m}_{para,k}$	[kg/h]	Strumień pary wytwarzanej przez kocioł
$\dot{Q}$	[kW]; [MW]	Moc cieplna
$\dot{Q}_{wym.c}$	[kW]; [MW]	Moc cieplna wymiennika ciepła
$r$	[kJ/kg]	Entalpia parowania przy danym ciśnieniu
$c_p$	[kJ/kgK]	Ciepło właściwe wody (do 250 °C można przyjąć do obliczeń przy minimalnym błędzie stałą $c_p = 4,19$ kJ/kgK)
$\Delta T$	[K]	Różnica temperatury

Tab. 2    *Objaśnienie symboli*

### 3.1    Ustalenie zapotrzebowania na parę odbiorników

Przy ustalaniu wymaganego zapotrzebowania na parę należy zebrać, najlepiej w formie tabeli, wszystkie występujące w sieci odbiorniki pary określając ich zapotrzebowanie minimalne i maksymalne, a następnie zsumować zapotrzebowanie wszystkich odbiorników.

Odbiorniki pary dzielą się na:

- bezpośrednie, np. autoklaw
- pośrednie, np. wymiennik ciepła
- straty ciepła na przesyle pary od kotła do odbiorników
- zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni, np. na podgrzewanie wody zasilającej

#### Odbiorniki bezpośrednie

$$\dot{m}_{para,odb.bezp} \text{ [kg/h]} = \text{Strumień pary dla odbiornika bezpośredniego}$$



W odbiorniku bezpośrednim para wchodzi w bezpośredni kontakt z ogrzewanym czynnikiem, ulegając wykropleniu. Tworzący się w odbiorniku kondensat zostaje odprowadzony z produktem (lub pozostaje w produkcie) i nie powraca do obiegu pary. Ten ubytek wody w systemie parowym musi zostać zastąpiony wodą uzupełniającą przygotowaną w urządzeniu do uzdatniania wody.

→ Technika – Rozdział 4.1: Przygotowanie wody, strona 179



Woda uzupełniająca w zbiorniku wody zasilającej musi zostać odgazowana przez podgrzanie, proces ten pociąga za sobą zwiększenie zapotrzebowania na potrzeby własne kotłowni.

Bezpośrednie odbiory pary mają miejsce na przykład podczas procesów suszenia, nawilżania powietrza, podgrzewania kąpeli czy sterylizacji.

Potrzebna ilość pary dla odbiorników bezpośrednich jest podawana w potrzebnej formie jako strumień masowy  $\dot{m}_{\text{para,odb.bezp}}$  (strumień pary dla odbiornika bezpośredniego) w [kg/h]. Jeśli jest podawana moc cieplna odbiornika pary, stosuje się te same wzory przeliczenia mocy cieplnej na zapotrzebowanie na parę jak dla odbiorników pośrednich.

### Odbiorniki pośrednie

Pośrednimi odbiornikami pary są wszelkiego rodzaju wymienniki ciepła, w których para skrapla się oddając ciepło ogrzewanemu czynnikowi (np. wodzie). Powstający kondensat ma początkowo temperaturę wrzenia odpowiadającą ciśnieniu pary na wlocie wymiennika, ale w zależności od poziomu temperatury ogrzewanego czynnika może zostać schłodzony poniżej temperatury wrzenia. Taki kondensat nazywa się przechłodzonym. Kondensat jest kierowany przez odgazowywacz z powrotem do zbiornika wody zasilającej.

Moc cieplna wymiennika ciepła jest zwykle podawana w [kW] lub [MW]. Aby ustalić wymagane zapotrzebowanie na parę nasyconą w [kg/h] trzeba przeliczyć moc cieplną wymiennika na zapotrzebowanie na parę nasyconą.

Dla szybkiego, przybliżonego wyliczenia zapotrzebowania na parę nasyconą wymiennika ciepła można posłużyć się tym prostym wzorem:

$$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}} = \dot{Q}_{\text{wym.c}} \cdot 1,8$$



**Wzór 7** Wzór na przybliżone obliczenie zapotrzebowania na parę nasyconą odbiornika pośredniego

$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}}$	Strumień pary dla odbiornika pośredniego [kg/h]
$\dot{Q}_{\text{wym.c}}$	Moc cieplna wymiennika ciepła [kW]
1,8	Współczynnik szacunkowy dla przeliczenia

$$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}} = 2000 \text{ [kW]} \cdot 1,8 = 3\,600 \text{ [kg/h]}$$



**Przykł. 4** Przykład obliczenia w przybliżeniu zapotrzebowania na parę nasyconą odbiornika pośredniego

Dla ciśnienia pary 5 – 18 bar różnica w stosunku do rzeczywistego zużycia pary wynosi < 5 %. Nie uwzględniono przy tym możliwego przechłodzenia kondensatu.

Dla dokładnego ustalenia zapotrzebowania na parę z mocy cieplnej wymiennika ciepła trzeba ustalić entalpię parowania przy rzeczywistym ciśnieniu roboczym wymiennika ciepła z tablicy pary nasyconej.

→ Narzędzia – Rozdział 4.2: Tablica woda-para, strona 400



Następnie posługując się poniższym wzorem można przeliczyć moc cieplną wymiennika ciepła na zapotrzebowanie na parę nasyconą:

$$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}} = \dot{Q}_{\text{wym.c}} \cdot \frac{3\,600}{r}$$



**Wzór 8** Wzór na przeliczenie mocy cieplnej na zapotrzebowanie na parę nasyconą

$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}}$	Ilość pary dla odbiornika pośredniego [kg/h]
$\dot{Q}_{\text{wym.c}}$	Moc cieplna wymiennika ciepła [kW]
$r$	Entalpia parowania przy danym ciśnieniu [kJ/kg]

$$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}} = 1\,000 \text{ [kW]} \cdot \frac{3\,600 \left[ \frac{\text{s}}{\text{h}} \right]}{1\,959 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} = 1\,838 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$



**Przykł. 5** Przykład przeliczenia mocy cieplnej na zapotrzebowanie na parę nasyconą

Jeśli powstający kondensat zostaje przechłodzony we wszystkich stanach roboczych, czyli schłodzony do temperatury poniżej temperatury wrzenia, to z mocy cieplnej dla przechłodzenia kondensatu można wyliczyć zapotrzebowanie na parę przy pomocy wzoru:

$$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}} = \dot{Q}_{\text{wym.c}} \cdot \frac{3\,600}{r + c_p \cdot \Delta T} = \dot{Q}_{\text{wym.c}} \cdot \frac{3\,600}{h'' - h_{\text{kond,wylot}}}$$



**Wzór 9** Wzór na obliczenie zapotrzebowania na parę odbiornika pośredniego wliczając przechłodzenie kondensatu

$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}}$	Ilość pary dla odbiornika pośredniego [kg/h]
$\dot{Q}_{\text{wym.c}}$	Moc cieplna wymiennika ciepła [kW]
$r$	Entalpia parowania przy danym ciśnieniu [kJ/kg]
$c_p$	Ciepło właściwe wody [kJ/kgK] (do 250 °C można przyjąć do obliczeń przy minimalnym błędzie stałą $c_p = 4,19$ kJ/kgK)
$\Delta T$	Przechłodzenie kondensatu, różnica temperatury $T_{\text{para nasyc.}} - T_{\text{kond,wylot}}$ [K]
$h''$	Entalpia pary nasyconej [kJ/kg]
$h_{\text{kond,wylot}}$	Entalpia kondensatu bezpośrednio przed wylotem z wymiennika



## Straty pary wtórnej

$$\dot{m}_{\text{para,rozpr}} [\text{kg/h}] = \text{Ilość pary wtórnej}$$



Para wtórna powstaje przy rozprężeniu gorącego ciśnieniowego kondensatu do ciśnienia poniżej ciśnienia wrzenia. Zjawisko to występuje np. gdy kondensat przepływa przez odwadniacz lub zawór albo gdy wpływa do otwartego kolektora kondensatu, w którym panuje ciśnienie atmosferyczne. Im wyższa jest temperatura kondensatu, tym więcej powstaje pary z rozprężania.

Ilość powstałej pary wtórnej można odczytać z wykresu lub wyliczyć z tablicy woda-para.

→ Narzędzia – Rozdział 4.2: Tablica woda-para, strona 400

Należy tu wziąć pod uwagę fakt, że ilość pary wtórnej może skurczyć się wskutek przechłodzenia kondensatu. Gdy para wtórna zostaje oddana do otoczenia, ta strata pary musi zostać skompensowana poprzez system wody uzupełniającej, analogicznie do strat wody w przypadku odbiorników bezpośrednich.

Para wtórna może być wykorzystana w ramach odzysku ciepła i z powrotem wprowadzona bezpośrednio do obiegu wody.

→ Technika – Rozdział 3.3: Ekonomizer, strona 150

## Straty ciepła na przesyle pary do odbiorników

$$\dot{m}_{\text{para,str.rur}} [\text{kg/h}] = \text{Strumień pary potrzebny do wyrównania strat ciepła na rurociągu}$$



Przy obliczaniu zapotrzebowania na parę należy również uwzględnić straty ciepła na przesyle pary rurociągiem od kotła do odbiorników. W przypadku gdy rurociąg posiada dobrą izolację zapotrzebowanie na ciepło można szacować na przybliżoną wielkość 10 kg pary na godzinę i długość rurociągu ( $10 \text{ kg}_{\text{para}} / (\text{h} \cdot 100 \text{ m})$ ).


Do dokładniejszych obliczeń strat ciepła trzeba wykonać oddzielne wyliczenie dla każdego ciągu rurowego posiłkując się średnicą znamionową, długością rur i grubością izolacji.

Należy także uwzględnić odpowiednio straty ciepła na armaturach, kołnierzach i zbiornikach. Orientacyjne wartości dla tych strat są podane w rozdziale „Efektywność“.

→ Efektywność – Rozdział 4.1: Izolacja, strona 289

Niestety straty ciepła na źle lub tylko częściowo zaizolowanych rurociągach, zbiornikach i armaturach ciągle jeszcze są traktowane zbyt lekceważąco. Zwłaszcza już w trakcie eksploatacji kotła, gdy izolacja jest zdejmowana do rewizji i inspekcji, ale już potem nie jest z powrotem instalowana. Izolacja rurociągów (i dotyczy to w jednakowej mierze systemów pary i kondensatu) jest jednym z najtańszych i najefektywniejszych środków uzyskania oszczędności w już istniejących instalacjach.


Gdy strata ciepła na rurociągu jest dokładnie obliczona, należy określić zapotrzebowanie na parę na pokrycie tej straty w taki sam sposób jak zapotrzebowanie na parę dla odbiornika niebezpośredniego.

$$\dot{m}_{\text{para, str. rur}} = \dot{Q}_{\text{str. rur}} \cdot 1,8 = \dot{Q}_{\text{str. rur}} \cdot \frac{3\,600}{r}$$


**Wzór 10** Wzór na obliczenie mocy cieplnej strat na rurociągu

$\dot{m}_{\text{para, str. rur}}$	Ilość pary na pokrycie strat ciepła na rurociągu [kg/h]
$\dot{Q}_{\text{str. rur}}$	Moc cieplna strat na rurociągu [kW]
1,8	Współczynnik szacunkowy do przeliczenia
r	Entalpia parowania przy danym ciśnieniu [kJ/kg]

$$\dot{m}_{\text{para, str. rur}} = 20 \text{ [kW]} \cdot 1,8 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = 36 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\dot{m}_{\text{para, odb. pośr}} = 20 \text{ [kW]} \cdot \frac{3\,600 \left[ \frac{\text{s}}{\text{h}} \right]}{1\,959 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]} = 36,8 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$


**Przykl. 6** Przykład obliczenia strat ciepła na rurociągu

→ Narzędzia – Rozdział 4: Woda-para: Podstawowe zasady, strona 399

→ Narzędzia – Rozdział 4.2: Tablica woda-para, strona 400

### Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni

Instalacja kotłowa zużywa pewną ilość energii na własne potrzeby. Ilość pary rzeczywiście wymaganej na potrzeby własne kotłowni można określić tylko posiadając doskonałą znajomość sposobu pracy całej instalacji kotłowej. Ilość pary grzewczej na podgrzew zbiornika wody zasilającej ma decydujący wpływ dla określenia potrzeb własnych kotłowni.

→ Technika – Rozdział 4.1: Przygotowanie wody, strona 179

Ilość energii potrzebnej do podgrzewania wody zasilającej zależy z kolei od temperatury kondensatu powracającego od odbiorników pary, zużycia wody uzupełniającej i strat wody kotłowej związanych z odsalaniem i odmulaniem.

Para jest zużywana na potrzeby własne wymienione poniżej. Ilość potrzebnej pary można w przybliżeniu oszacować posługując się poniższym zestawieniem:



$\dot{m}_{\text{para,wf}}$  [kg/h] = zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni obejmuje:

- podgrzewanie wody uzupełniającej (~5 – ~15 % pary wytwarzanej przez kocioł)
- podgrzewanie kondensatu tlenowego (~1 – ~3 % pary wytwarzanej przez kocioł)
- odgazowanie wody uzupełniającej (~0,5 % pary wytwarzanej przez kocioł)



Kotłownia zużywa więc na własne potrzeby ok. 6 – 16 % pary wytworzonej przez kocioł.

Dla dokładnego obliczenia zapotrzebowania na parę na potrzeby własne kotłowni trzeba posiadać dokładne informacje odnośnie zużycia wody uzupełniającej, sposobu przygotowania wody i zasolenia wody, temperatury kondensatu powracającego od odbiorników pary oraz ewentualnego podgrzewania paliwa.

Zużycie pary na potrzeby własne kotłowni można znacznie zredukować poprzez odzysk ciepła różnymi metodami, np. chłodzenie oparów, rozprężanie i chłodzenie odsolin i odmulin, chłodzenie wody zasilającej, ekonomizer kondensacyjny czy eksploatację kotła z wodą pozbawioną soli i przygotowaniem wody metodą odwróconej osmozy.

→ Technika – Rozdział 3.3: Ekonomizer, strona 150

Do dokładnego obliczenia zapotrzebowania na parę na potrzeby własne kotłowni trzeba najpierw obliczyć wymienione niżej ilości pary, które po zsumowaniu dadzą łączną ilość niezbędnej pary grzewczej.

### Podgrzewanie wody uzupełniającej

Aby wyrównać straty pary w sieci, np. w rezultacie pobrania pary przez odbiorniki bezpośrednie, trzeba zasilić kocioł dodatkową ilością przygotowanej wody.

→ Technika – Rozdział 4.1: Przygotowanie wody, strona 179

W trakcie odgazowania zimna woda uzupełniająca o temp. 10 °C jest podgrzewana do ok. 103 °C. Ciepło potrzebne do tego procesu jest pobierane bezpośrednio z pary wytworzonej przez kocioł.

$$\dot{m}_{\text{para,wf,wu}} = \frac{\dot{m}_{\text{wu}} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}}{r}$$



**Wzór 11** Wzór na obliczenie zapotrzebowania na parę na potrzeby własne kotła do podgrzewania wody uzupełniającej

$\dot{m}_{\text{para,wf,wu}}$	Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotła na podgrzewanie wody uzupełniającej [kg/h]
$\dot{m}_{\text{wu}}$	Zapotrzebowanie na wodę uzupełniającą do przygotowania wody zasilającej [kg/h]
$r$	Entalpia parowania przy danym ciśnieniu [kJ/kg]
$c_p$	Ciepło właściwe wody [kJ/kgK] (do 250 °C można przyjąć do obliczeń przy minimalnym błędzie stałą $c_p = 4,19$ kJ/kgK)
$\Delta T$	Różnica między temperaturą wody zasilającej i temperaturą wody uzupełniającej $T_{\text{odg}} - T_{\text{wu}}$ [K]

Zapotrzebowanie na wodę uzupełniającą można obliczyć z ilości pary wytworzonej przez kocioł, odsolin, oparów i zawróconego kondensatu:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{wu} &= \dot{m}_{para,inst} + \dot{m}_{odsol} + \dot{m}_{opary} - \dot{m}_{kond,całk} \\ \dot{m}_{wu} &= \dot{m}_{para,inst} \cdot z \\ \dot{m}_{wu} &\approx \dot{m}_{para,inst} \cdot (1 + a + 0,5 \% - c) \end{aligned}$$



**Wzór 12** Wzór na obliczenie zapotrzebowania na wodę uzupełniającą

$\dot{m}_{wu}$	Zapotrzebowanie na wodę uzupełniającą [kg/h]
$\dot{m}_{para,inst}$	Zapotrzebowanie na parę instalacji [kg/h]
$\dot{m}_{odsol}$	Strumień masowy odsolin [kg/h]
$\dot{m}_{opary}$	Strumień masowy oparów [kg/h]
$\dot{m}_{kond,całk}$	Strumień masowy kondensatu całkowitego [kg/h]
a	Udział odsolin = $\dot{m}_{odsol} / \dot{m}_{para,k}$ [kg/kg]
c	Udział kondensatu = $\dot{m}_{kond,całk} / \dot{m}_{para,k}$ [kg/kg]
z	Udział wody uzupełniającej = $\dot{m}_{wu} / \dot{m}_{para,k}$ [kg/kg]

### Podgrzewanie kondensatu zawierającego tlen

Oprócz wody uzupełniającej także zawierający tlen kondensat zbierany w otwartych kolektorach i przez to mający temperaturę niższą od 103 °C wymaga podgrzania ponownie do temperatury wody zasilającej. Często zawierający tlen kondensat ma temperaturę od 50 do 90 °C.

Ciepło potrzebne do tego procesu jest pobierane bezpośrednio z pary wytworzonej przez kocioł.

$$\dot{m}_{para,wł,podgrz.kond} = \frac{\dot{m}_{kond.tlen} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}}{r}$$



**Wzór 13** Wzór na obliczenie zapotrzebowania na parę na potrzeby własne kotłowni na podgrzewanie kondensatu

$\dot{m}_{para,wł,podgrz.kond}$	Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni na podgrzewanie kondensatu [kg/h]
$\dot{m}_{kond.tlen}$	Ilość kondensatu zawierającego tlen [kg/h]
r	Entalpia parowania przy danym ciśnieniu [kJ/kg]
$c_p$	Ciepło właściwe wody [kJ/kgK] (do 250 °C można przyjąć do obliczeń przy minimalnym błędzie stałą $c_p = 4,19$ kJ/kgK)
$\Delta T$	Różnica między temperaturą wody zasilającej i temperaturą kondensatu $T_{odg} - T_{kond.tlen}$ [K]



### Opary z odgazowania

Rozpuszczone w wodzie uzupełniającej i kondensacie gazy: tlen i dwutlenek węgla po odgazowaniu uchodzą z odgazowywacza wraz z oparami. Ilość oparów wydmuchiowanych do atmosfery stanowi około 0,5 % strumienia masowego wody uzupełniającej i zawierającego tlen kondensatu. Z oparami są odprowadzane do atmosfery tlen, azot i kwas węglowy wydzielony z wody.

$$\dot{m}_{\text{opary}} \approx (\dot{m}_{\text{kond.tlen}} + \dot{m}_{\text{wu}}) \cdot 0,5 \%$$



$\dot{m}_{\text{opary}}$	Strumień masowy oparów [kg/h]
$\dot{m}_{\text{kond.tlen}}$	Strumień masowy kondensatu zawierającego tlen [kg/h]
$\dot{m}_{\text{wu}}$	Strumień masowy wody uzupełniającej [kg/h]

W celu ograniczenia strat ciepła traconego z oparami do odgazowywacza można zastosować chłodnicę oparów. Zachodzi w niej kondensacja (skroplenie) oparów z wydzielaniem ciepła skraplania. To ciepło może być wykorzystane do podgrzewania wody uzupełniającej.

→ Efektywność – Rozdział 3.2: Opary, strona 282

### Para do podgrzewania wody zasilającej

Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni na podgrzewanie wody zasilającej można obliczyć według wzoru:

$$\dot{m}_{\text{para,podgrz}} = \dot{m}_{\text{para,wł}} = \dot{m}_{\text{para,wł,wu}} + \dot{m}_{\text{podgrz.kond}} + \dot{m}_{\text{podgrz.kond}}$$



**Wzór 14** Obliczanie zapotrzebowania własnego kotłowni na parę do podgrzewania wody zasilającej

$\dot{m}_{\text{para,podgrz}}$	Para potrzebna do podgrzewania [kg/h]
$\dot{m}_{\text{para,wł}}$	Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni [kg/h]
$\dot{m}_{\text{para,wł,wu}}$	Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni na podgrzewanie wody uzupełniającej [kg/h]
$\dot{m}_{\text{podgrz,kond}}$	Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni na podgrzewanie kondensatu zawierającego tlen* [kg/h]
$\dot{m}_{\text{opary}}$	Strumień masowy oparów [kg/h]

\*Beztlenowy kondensat pozwala zredukować ilość pary potrzebnej do podgrzewania wody zasilającej.



### Znamionowe obliczeniowe zapotrzebowanie na parę instalacji kotłowej

Aby obliczyć całkowite zapotrzebowanie na parę instalacji kotłowej trzeba dodać wszystkie odbiory pary:

$$\dot{m}_{\text{para,k}} = \dot{m}_{\text{para,inst}} + \dot{m}_{\text{para,wł}} = \dot{m}_{\text{para,odb.bezp}} + \dot{m}_{\text{para,odb.pośr}} + \dot{m}_{\text{para,str.rur}} + \dot{m}_{\text{para,wł}}$$



**Wzór 15** Wzór na obliczenie całkowitego zapotrzebowania na parę instalacji kotłowej

$\dot{m}_{\text{para,k}}$	Całkowite zapotrzebowanie na parę [kg/h]
$\dot{m}_{\text{para,inst}}$	Zapotrzebowanie na parę instalacji parowej [kg/h]
$\dot{m}_{\text{para,odb.bezp}}$	Zapotrzebowanie na parę odbiorników bezpośrednich [kg/h]
$\dot{m}_{\text{para,odb.pośr}}$	Zapotrzebowanie na parę odbiorników pośrednich [kg/h]
$\dot{m}_{\text{para,str.rur}}$	Zapotrzebowanie na parę na kompensację strat ciepła na rurociągu [kg/h]
$\dot{m}_{\text{para,wł}}$	Zapotrzebowanie na parę na potrzeby własne kotłowni [kg/h]



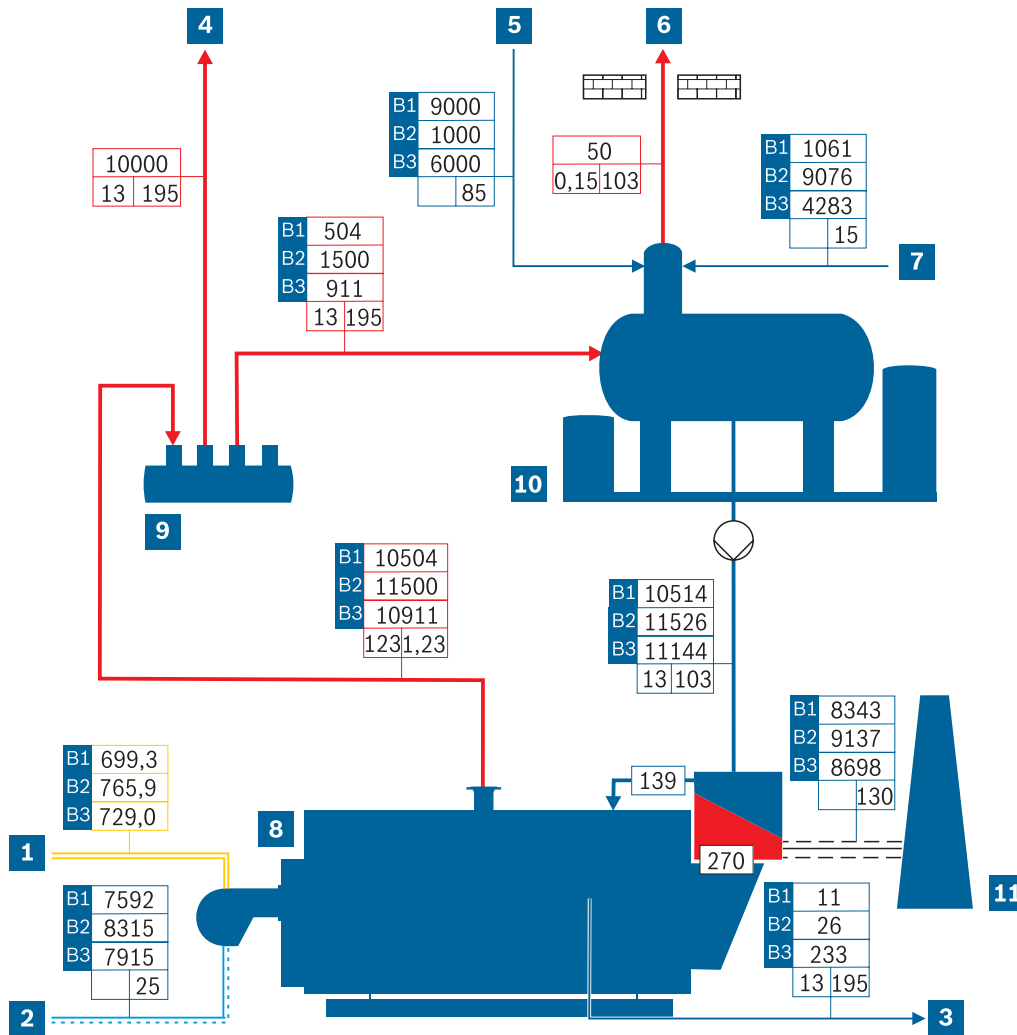
### Obliczanie bilansu masy i energii – przykłady

W dalszej części tego rozdziału przedstawiamy bilanse masy i energii na przykładzie prostych instalacji złożonych z niewielu komponentów.

W poniższym porównaniu ograniczamy się jedynie do zmiany ilości kondensatu zawracanego do kotłowni i metody przygotowania wody, tak aby było ono jak najbardziej obrazowe. Sprawność cieplna we wszystkich trzech przykładach oscyluje na poziomie 95 %.

Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
<p>W instalacji występują głównie <b>odbiorniki pośrednie</b> (c = 90 %) i niewielka liczba odbiorników bezpośrednich (c = 10 %).</p> <p>Woda uzupełniająca jest poddawana odwróconej osmozie, kocioł jest eksploatowany z wodą słabo zasoloną.</p>	<p>W instalacji występują głównie <b>odbiorniki bezpośrednie</b> (90 %) i niewielka liczba odbiorników pośrednich (c = 10 %), wobec czego do kotłowni prawie nie wraca kondensat zawierający tlen.</p> <p>Woda uzupełniająca jest poddawana – tak samo jak w przykładzie 1 – odwróconej osmozie, kocioł jest eksploatowany z wodą słabo zasoloną.</p>	<p>W instalacji występują <b>odbiorniki bezpośrednie</b> (60 %) i <b>pośrednie</b> (c = 40 %).</p> <p>Woda uzupełniająca jest poddawana zmiękczeniu, kocioł jest eksploatowany z wodą zasoloną.</p>
<p>Modelowy dla instalacji, w których para jest zużywana w wymiennikach ciepła, ale tylko część kondensatu wraca do kotłowni (np. z powodu bardzo długiej drogi do odbiorników).</p>	<p>Modelowy dla instalacji, w których para jest potrzebna wyłącznie dla odbiorników bezpośrednich, np. w zakładzie produkującym pasze dla zwierząt albo dla autoklawów.</p> <p>Jedynie kondensat z odwodnienia rur i niektórych urządzeń pomocniczych jest zawracany do kotłowni.</p>	<p>Modelowy dla instalacji, w których tylko część kondensatu jest lub może być zawracana do kotłowni, np. w zakładach produkcji napojów z odbiornikami bezpośrednimi (mycie butelek).</p>
<p><b>Podsumowanie:</b></p>		
<p>W rezultacie zastosowania najskuteczniejszej metody przygotowania wody i zawracania dużej ilości kondensatu do kotłowni potrzeba bardzo niewiele ciepła z pary do podgrzewania wody zasilającej. Para wytworzona przez kocioł prawie w całości zostaje wykorzystana przez odbiorniki. Zapotrzebowanie na paliwo jest niewielkie.</p>	<p>W rezultacie zastosowania najskuteczniejszej metody przygotowania wody i pomimo zawracania małej ilości kondensatu do kotłowni zawartość odsolin utrzymuje się na bardzo niskim poziomie. Ponieważ jednak trzeba podgrzewać bardzo dużo wody uzupełniającej, zapotrzebowanie na paliwo jest zdecydowanie większe.</p>	<p>Również większe zapotrzebowanie na paliwo, powodowane dużą zawartością odsolin i dużymi stratami ciepła (bez odzysku ciepła z odsolin) oraz znaczną ilością wody uzupełniającej.</p>
<p><b>Zapotrzebowanie na energię uzyskaną z paliwa na kg pary na odbiornik:</b></p>		
<p><b>0,724 [kWh/kg]</b></p>	<p><b>0,793 [kWh/kg] (+ 9,5 %)</b></p>	<p><b>0,755 [kWh/kg] (+ 4,3 %)</b></p>

Tab. 3 Przykłady obliczeń bilansu masy i energii różnych kotłowni parowych



Ryc. 8 Bilans masy i energii – uproszczony schemat technologiczny (ilustracja przedstawia instalację w bardzo dużym uproszczeniu)

- |                                     |                                    |                 |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| <b>1</b> Paliwo                     | <b>7</b> Woda uzupełniająca        | — Woda          |
| <b>2</b> Powietrze                  | <b>8</b> Kocioł parowy             | — Para          |
| <b>3</b> Odsoliny                   | <b>9</b> Rozdzielacz pary          | — Paliwo        |
| <b>4</b> Para nasycona              | <b>10</b> Moduł przygotowania wody | - - - Powietrze |
| <b>5</b> Kondensat zawierający tlen | <b>11</b> Komin                    | ≡≡≡ Spaliny     |
| <b>6</b> Opary                      |                                    |                 |

Strumień medium	
Ciśnienie	Temperatura



## 3.2 Ocena zapotrzebowania na parę odbiorników

Gdy jest już znana znamionowa obliczeniowa ilość pary, czas na kolejny etap w projektowaniu kotłowni parowej, jakim jest ustalenie wydajności poszczególnych kotłów w instalacji. Należy pamiętać o ustaleniu zarówno maksymalnego jak i minimalnego zapotrzebowania na parę występującego w trakcie eksploatacji kotła. Dodatkowo trzeba uwzględnić zakładane rezerwy, a także możliwe rozbudowanie kotłowni w przyszłości.

### 3.2.1 Maksymalne zapotrzebowanie na parę

Maksymalne, inaczej znamionowe obciążenie odpowiada sumie zapotrzebowania na parę wszystkich odbiorników mogących znajdować się w użytku w tym samym czasie.

Przy ustalaniu maksymalnego zapotrzebowania na parę bardzo często zdarza się dobór kotła o niepotrzebnie zawyżonej mocy. Dlatego należy dokładnie zbadać, czy wszystkie odbiorniki pary rzeczywiście jednocześnie pracują, czy też muszą pracować, ze swoją maksymalną mocą. Z reguły tak nie jest, bądź też można uniknąć takich sytuacji odpowiednio sterując procesami technologicznymi. Maksymalną wymaganą moc kotła można zmniejszyć, sterując stopniowym dołączaniem kolejnych odbiorników pary. Takie rozwiązanie pozwala wyeliminować lub przynajmniej zminimalizować problemy, które mogłyby powstać w fazach niskiego zapotrzebowania na parę w przewymiarowanym systemie.

#### Obliczanie rezerw

Obliczając maksymalne zapotrzebowanie na parę należy też oczywiście wkalkulować pewne rezerwy mocy.

Jednakże trzeba się wystrzegać przewymiarowania kotłowni. W celu prawidłowego ustalenia rzeczywiście potrzebnych rezerw należy:

- przeanalizować celowość i wielkość przewidywanych rezerw z użytkownikiem kotła
- uwzględnić każde planowane na przyszłość dodatkowe zapotrzebowanie na parę
- szczegółowo zbadać zakładane rezerwy na etapie koncepcji instalacji:
  - należy unikać mnożenia rezerw w różnych miejscach instalacji
  - wymienniki ciepła i odbiorniki pary posiadają już zazwyczaj własne rezerwy

#### Problemy wynikające z przewymiarowania kotła

- Większe koszty inwestycji
- Większe koszty eksploatacji, powodowane w głównej mierze częstymi włączeniami i wyłączeniami palnika i związanymi z tymi procesami stratami ciepła
- Szybsze zużycie kotła i innych składników instalacji

#### Rozruch

W fazie rozruchu, zwłaszcza gdy zbiornik wody zasilającej, przewody rurowe i wymienniki ciepła są jeszcze zimne, jest potrzebne dodatkowe ciepło do ogrzania całego systemu do temperatury roboczej. Dopiero po osiągnięciu przez system temperatury roboczej cała para wytworzona przez kocioł może być zużytkowana przez odbiorniki.



## Przeciążenie

Przeciążenie poszczególnych odbiorników lub całej sieci ponad maksymalną moc kotła skutkuje poborem bardzo dużej ilości pary z kotła. W konsekwencji spada ciśnienie pary w kotle, wzrasta jej wilgotność i może wystąpić zjawisko pienienia się wody kotłowej. Przeciążeniu kotła można zapobiec np. umieszczając stacje redukcji ciśnienia między kotłem i odbiornikami lub zabezpieczając sam kocioł zaworem poboru pary z napędem silnikowym (SUCcess).

Problem z przeciążeniem kotła może pojawić się nawet wtedy, gdy wymienniki ciepła zostały zaprojektowane prawidłowo. Podawana wydajność wymienników ciepła odnosi się do stanu projektowanego, dodatkowo wymienniki ciepła zazwyczaj dysponują rezerwą powierzchni wymiany rzędu 10 – 30 %. Nowy wymiennik ciepła osiąga więc odpowiednio wyższą wydajność, co jednak pociąga za sobą większe zużycie pary.

## Zmiany kryteriów zużycia pary w trakcie eksploatacji

Szczególną uwagę należy poświęcić możliwym zmianom w użytkowaniu kotłowni w przyszłości. Jeżeli rozbudowa kotłowni jest planowana bądź przewidywana już w fazie projektu, należy wziąć ten fakt pod uwagę projektując oczekiwane maksymalne zapotrzebowanie na parę. Zazwyczaj udaje się tak elastycznie ukształtować całościową koncepcję instalacji pod względem zapotrzebowania na parę dla przyszłej rozbudowanej instalacji, że można uniknąć wszystkich negatywnych skutków przewymiarowania kotła dla aktualnej eksploatacji.

### 3.2.2 Minimalne zapotrzebowanie na parę i fazy niskiego obciążenia

Minimalne zapotrzebowanie na parę występuje zwykle w okresach przestoju produkcji nocą lub w weekendy. Oprócz pary na potrzeby odbiorników należy tu uwzględnić przede wszystkim straty postojowe. Są one niezależne od aktualnego zapotrzebowania na parę instalacji i występują przez cały czas.

Są to głównie:

- straty ciepła przez promieniowanie ciepła z kotła do otoczenia
- straty na przesyle rurociągiem do odbiorników
- straty ciepła na poszczególnych komponentach kotłowni
- straty energii oparów wydmuchiwanych z odgazowyczacza

Zwłaszcza należy unikać takich spadków obciążenia, które wykraczałyby poza zakres regulacji palnika.

Częste włączenia i wyłączenia palnika (> 4 starty palnika/h) znacząco odbijają się w kosztach eksploatacji kotła z powodu strat energii na konieczne przewietrzanie komory spalania świeżym powietrzem przed każdym startem.

→ Efektywność – Rozdział 2.2.4: Przewietrzanie przed startem palnika, strona 275

Poza tym termiczne obciążenia towarzyszące każdemu startowi palnika przyspieszają zużycie kotła i osprzętu.

Fazy obciążenia częściowego dają się często wyeliminować lub chociaż zredukować przez zastosowanie nadrzędnych systemów sterowania i zarządzania energią, jeśli weźmie się je pod uwagę już na etapie projektowania kotłowni.

→ Raport Branżowy FB027: Możliwe do uniknięcia obciążenia kotłów płomienicowo-płomieniówkowych



### 3.3 Dobór kotła

Celem oceny zapotrzebowania na parę jest:

- ustalenie maksymalnego zapotrzebowania na parę
- ustalenie minimalnego zapotrzebowania na parę
- udokumentowanie planowanych rezerw
- opracowanie koncepcji pod kątem przewidywanej w przyszłości rozbudowy kotłowni
- ustalenie możliwego kształtowania się zapotrzebowania na parę na przestrzeni czasu

W oparciu o te informacje można dokonać doboru kotłów.

#### 3.3.1 Instalacja z jednym kotłem

Wybierając kocioł należy zwrócić uwagę na to, aby w trakcie późniejszego użytkowania instalacja pracowała przez większość czasu w zakresie 40 – 90 % maksymalnej mocy kotła parowego, gdyż w tym zakresie sprawność jest szczególnie wysoka.

Z ustalonych minimalnego i maksymalnego zapotrzebowania na parę wynika od razu wymagany zakres regulacyjny kotła.

$$\text{Wymagany zakres regulacyjny} = \frac{\text{minimalne zapotrzebowanie na parę}}{\text{maksymalne zapotrzebowanie na parę}}$$



Instalacja z jednym kotłem będzie odpowiednia tam, gdzie zakres regulacji w trybie normalnej pracy w ciągu tygodnia mieści się pomiędzy wartościami:

- kocioł z jedną płomienicą: 1 do 0,125 (zakres regulacji 1:8)
- kocioł z dwiema płomienicami: 1 do 0,061 (zakres regulacji 1:16)

Dostępne wydajności kotłów:

- z jedną płomienicą: 175 – 28 000 kg/h
- z dwiema płomienicami: 18 000 – 55 000 kg/h

#### 3.3.2 Instalacje wielokotłowe

Instalacja wielokotłowa może być wskazana z rozmaitych przyczyn. Powody dla podziału łącznej mocy kotłowni na kilka jednostek kotłowych są opisane w dalszej części poradnika. Nie można tu jednak dokonać jednej wyczerpującej oceny obejmującej wszystkie punkty widzenia, bowiem dla podziału mocy może istnieć wiele różnych wariantów. Decyzja o tym, czy ma to być pojedynczy kocioł, czy moc łączna ma być podzielona na kilka kotłów, jest zawsze indywidualna w odniesieniu do konkretnego projektu i powinna być podjęta wspólnie przez użytkownika, projektanta, wykonawcę instalacji i producenta kotła.

#### Ciągłość dostaw ciepła i redundancja

Podział łącznej mocy na kilka jednostek kotłowych jest konieczny tam, gdzie jest wymagane utrzymanie zasilania w ciepło także w razie awarii jednego z kotłów. Taka sytuacja dotyczy na przykład szpitali i przemysłu farmaceutycznego.

Kocioł rezerwowy musi wówczas dostarczyć minimalną wymaganą wydajność do podtrzymywania ciągłej pracy obiektu.

Często też producenci z branży spożywczej (na przykład zakłady mleczarskie czy cukrownie) i innych branż przemysłowych (zakłady papiernicze czy poligraficzne) nie mogą pozwolić sobie, ze względów ekonomicznych, na zatrzymanie produkcji z powodu awarii kotła parowego.

### Praca z częściowym obciążeniem i regulacyjność kotłów parowych

Powodami przemawiającymi za podziałem mocy łącznej na kilka jednostek kotłowych są:

- duże różnice w zapotrzebowaniu na parę między najmniejszym i największym odbiorem pary,
- cykliczne wahania zużycia pary, np. różnice między dniem i nocą,
- różnice w zużyciu pary w dni robocze i weekendy.

Minimalne zapotrzebowanie na parę często jest daleko mniejsze niż minimalna moc pojedynczej jednostki kotłowej, a zatem wskazany jest podział mocy dopasowany do małego obciążenia, aby zapobiec częstym włączeniom i wyłączeniom palnika w fazach minimalnego zapotrzebowania na parę. Pozwala to uniknąć większego obciążenia dla środowiska naturalnego i wyższych kosztów eksploatacji oraz szybszego zużycia podzespołów.

W dużych instalacjach granica mocy źródeł ciepła determinuje liczbę jednostek. Najkorzystniejszy jest podział łącznej mocy na jednostki tego samego typu konstrukcyjnego. Już sam fakt, iż części zamienne do wszystkich kotłów będą wówczas takie same, przez co można zdecydowanie ograniczyć ich zapas, może być wystarczającym ku temu powodem. Tylko jeśli tak dobrany najmniejszy kocioł nie jest w stanie zapewnić efektywnej pracy na minimalnym obciążeniu, należy sięgnąć po najbliższy większy kocioł.

→ Raport Branżowy FB027: Możliwe do uniknięcia obciążenia kotłów płomienicowo-płomieniówkowych

### Zimny rozruch/podtrzymanie

Szybka dostępność maksymalnej mocy kotła jest kolejną przesłanką przemawiającą za instalacją wielokotłową. Podczas gdy zimny kocioł potrzebuje około godziny do osiągnięcia stanu gotowości na pełnym obciążeniu, kocioł pozostający w trybie podtrzymania może dostarczyć ciepło w ciągu zaledwie 5 minut. Efektywniejszym i oszczędniejszym sposobem podtrzymania niż przez palnik jest podtrzymanie przez zasilaną parą węzłownicę grzejną.

→ Technika – Rozdział 3.2: System utrzymania kotła w gorącej rezerwie, strona 147

### Zoptymalizowane koszty eksploatacji

W kwestii, ile kotłów i jakiej mocy zainstalować w instalacji, wyznacznikiem mają być jak najniższe koszty eksploatacji. Zwłaszcza przy cyklicznych wahaniami zapotrzebowania na parę, np. gdy występują przestoje w weekendy albo ciepło jest wytwarzane do celów grzewczych w zależności od pór roku, moc poszczególnych jednostek kotłowych nie powinna być taka sama.

### Sterowanie kaskadowe

Podział łącznej mocy kotłów na kocioł podstawowy i szczytowy oraz zastosowanie nowoczesnego sterowania kaskadowego pozwalają zoptymalizować obciążenia dla kotłów i koszty eksploatacji.

→ Technika – Rozdział 4.6: System zarządzania instalacją SCO, strona 208





### Warunki przestrzenne – wymagania dla ustawienia kotła

Kotłownie najczęściej mieszczą się w oddzielnym budynku lub pomieszczeniu, odpowiednio przystosowanym do tego właśnie celu. Ze względu na potencjalne ryzyko towarzyszące użytkowaniu kotłów budynek/pomieszczenie kotłowni musi spełniać szereg określonych warunków.

Ustawienie kotłów wewnątrz, pod i nad pomieszczeniami przeznaczonymi do pracy, na cele mieszkalne i socjalne wymaga szeregu specjalnych zabezpieczeń i spełnienia szczególnych wymogów:

Wymóg	Maksymalna wartość
Maksymalna wydajność kotła parowego	2 000 kg/h
Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze	32 bar
Maksymalna pojemność wodna do niskiego stanu wody	10 000 l
Maksymalny iloczyn pojemności wodnej i dopuszczalnego ciśnienia roboczego	20 000 l · bar

Tab. 4 Uproszczone warunki ustawienia dla kotłów parowych

Wymogi względem ustawienia kotła mogą stanowić powód dla podziału łącznej wymaganej mocy na kilka mniejszych kotłów, które spełniają powyższe warunki. Często po takie rozwiązanie sięgają szpitale, małe pralnie czy zakłady produkcji spożywczej, które nie dysponują oddzielnym budynkiem kotłowni, ale kotły mogą być zainstalowane na przykład w piwnicy.

### Podział mocy łącznej na kilka kotłów

W poniższej tabeli przedstawiono kilka przykładów wymaganego zapewnienia zasilania w ciepło w razie awarii kotła oraz wymagany w takim wypadku zakres regulacji i proponowany podział mocy na kilka kotłów pozwalający spełnić te wymagania:

Wymóg	Podział łącznej mocy na kilka kotłów
Zapewnienie 100 % produkcji pary w razie awarii	100:100, podział na 2 kotły
Zapewnienie 80 % produkcji pary w razie awarii	80:80, podział na 2 kotły
Zapewnienie 50 % produkcji pary w razie awarii	50:50:50, podział na 3 kotły
Zakres regulacji > 1:8	50:50, podział na 2 kotły lub 1 kocioł z dwiema płomienicami
Zakres regulacji > 1:20	30:70, podział na 2 kotły
Zakres regulacji ≤ 1:20 + zapewnienie 80 % produkcji pary w razie awarii	40:40:40, podział na 3 kotły

Tab. 5 Podział łącznej mocy na kilka kotłów w celu spełnienia przykładowych wymagań

Są możliwe też inne podziały łącznej mocy na kilka jednostek kotłowych. Decydując się na instalację wielokotłową należy pamiętać o tym, że wyższe będą koszty inwestycji, eksploatacji i konserwacji w przypadku takiego rozwiązania.

Dla instalacji wielokotłowej jest konieczne sterowanie kaskadowe sterujące włączeniami i wyłączeniami palników oraz podtrzymaniem poszczególnych kotłów.

→ Technika – Rozdział 4.6: System zarządzania instalacją SCO, strona 208





## 4 Paliwo

Najczęściej używanymi paliwami do zasilania kotłowni parowych są:

- gaz ziemny
- olej opałowy

Te paliwa są dostępne niemal wszędzie, a do tego mają dobrą jakość regulowaną różnymi aktami normatywnymi.

Oprócz tych dwóch paliw podstawowych do zasilania kotłowni parowej można wykorzystać inne rodzaje paliw:

- olej opałowy ciężki i średni
- inne gazy opałowe (np. wodór, LPG, LNG)
- biopaliwa (np. gazy niskokaloryczne, gazy z oczyszczalni ścieków i biogazy)
- zanieczyszczone produkty odpadowe z przemysłu chemicznego (np. styren, toluen)
- produkty odpadowe z innych branż przemysłu (np. tłuszcze zwierzęce, olej rybny)

Pierwszym kryterium wyboru paliwa jest jego dostępność w miejscu, gdzie będzie znajdować się planowana kotłownia. Dowóz olejów opałowych odbywa się cysternami paliwowymi. Natomiast gaz ziemny wymaga zainstalowania stacji redukcyjno-pomiarowej, przez którą będzie dostarczany do odbiorcy z sieci gazowej.

Jeżeli kotłownia ma zapewniać ciągłość dostaw ciepła, to dla bezpieczeństwa można wyposażyć kocioł w osprzęt do spalania różnych rodzajów paliw. Najczęściej są to gaz ziemny jako paliwo podstawowe i olej opałowy jako paliwo rezerwowe.

Kolejnym istotnym kryterium wyboru paliwa jest jego cena. Tu trzeba drobiazgowo porównać koszty różnych rodzajów paliw. Aktualne ceny gazu można znaleźć w rozliczeniu dostaw gazu albo zapytać o nie bezpośrednio dostawcę gazu. Ceny oleju opałowego są powszechnie dostępne w internecie.

→ Projektowanie – Rozdział 4.3: Kryteria wyboru paliwa: olej opałowy czy gaz ziemny, strona 58

Poza samą ceną paliw należy przyjrzeć się wielkości ich zużycia, wydatkom na konieczne konserwacje i inspekcje kotłowni oraz koszty ewentualnie potrzebnego dodatkowego budynku.

Z reguły ogólne koszty eksploatacji kotłowni na gaz ziemny wypadają najkorzystniej na tle innych paliw, wobec czego w ciągu ostatnich dziesięciu lat wiele już istniejących kotłowni dokonało modernizacji swoich kotłów przechodząc z oleju opałowego jako wyłącznego paliwa na spalanie dwóch paliw: oleju opałowego i gazu ziemnego.

Oprócz obciążeń dla kieszeni użytkownika niemniej ważne są obciążenia wynikające ze spalania różnych paliw dla środowiska naturalnego. Podstawowe znaczenie będą mieć tu przepisy w zakresie dopuszczalnych emisji szkodliwych substancji obowiązujące w miejscu eksploatacji kotłowni. Jeśli chodzi o emisję  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$ , to znowu gaz ziemny oferuje najlepsze właściwości.

## 4.1 Olej opałowy

Oleje mineralne służące jako paliwa podlegają normom w zakresie ochrony środowiska naturalnego i ochrony przeciwpożarowej, które regulują kwestie związane z ich przewozem, przeładunkiem i magazynowaniem.

Wymagania dla palników olejowych są określone w odpowiednich normach dotyczących kotłów i palników. Wymagania w zakresie przewozu, przeładunku i magazynowania oleju opałowego są zawarte w stosownych przepisach prawa krajowego oraz normach i dyrektywach unijnych. Zbiorniki na olej opałowy wymagają dopuszczenia do eksploatacji oraz pozytywnej opinii inspektora pożarnictwa, a także muszą być poddawane okresowym kontrolom i badaniom, które wykonują inspektorzy ochrony przeciwpożarowej, inspekcji sanitarnej i ochrony środowiska.

### Olej opałowy lekki

Olej opałowy lekki jest w zasadzie wszędzie dostępny bez ograniczeń. Dostawy oleju opałowego lekkiego zazwyczaj odbywają się cysternami paliwowymi.

W handlu są dostępne następujące gatunki oleju opałowego lekkiego:

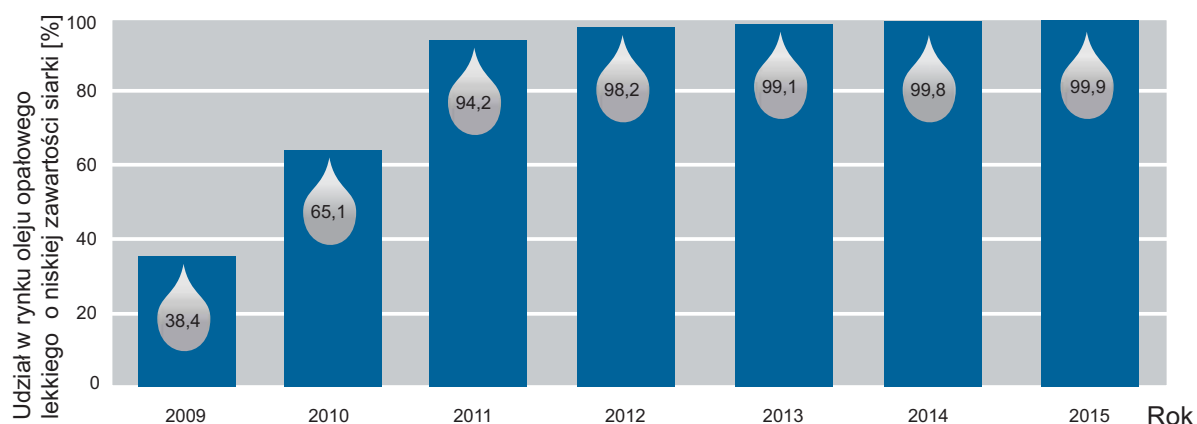
- olej opałowy lekki standardowy
- olej opałowy lekki o niskiej zawartości siarki
- olej opałowy lekki z dodatkiem biokomponentów

Najczęściej stosowanym gatunkiem oleju opałowego lekkiego jest olej o niskiej zawartości siarki, wynoszącej maksymalnie 50 mg/kg. W Niemczech ze względu na obniżoną stawkę opodatkowania ten gatunek oleju opałowego już prawie w 100 %. Ten olej nadaje się też najlepiej do spalania w kotłach kondensacyjnych, ponieważ wykazuje jeszcze mniejszą tendencję do zanieczyszczania niż olej lekki standardowy.

→ Technika – Rozdział 3.4: Ekonomizer kondensacyjny, strona 154

Olej opałowy lekki z dodatkiem biokomponentów jest olejem o niskiej zawartości siarki z 5 %, 10 % lub 15 % dodatkiem biopaliw. Obecnie najczęściej stosowanym dodatkiem jest biodiesel (estry metylowe kwasów tłuszczowych).

W Polsce wymagania i normy dla oleju opałowego lekkiego określa norma PN-C-96024.



Ryc. 9 Udział oleju opałowego lekkiego o niskiej zawartości siarki w ogólnym zużyciu w Niemczech <sup>1)</sup>

1) IWO – Instytut Ciepła i Technologii Oleju



### Olej opałowy ciężki

Olej opałowy ciężki jest używany jako paliwo prawie wyłącznie dla wytwornic pary w dużych instalacjach wielkich zakładów przemysłowych. Powstaje w procesie rafinacji ropy naftowej w dolnej części kolumny rektyfikacyjnej, gdzie zbiera się frakcja ropy o wysokiej temperaturze wrzenia. Składa się w przeważającej części z dużych, relatywnie ciężkich cząstek łańcuchowych alkanów i alkenów, cykloalkanów i różnych węglowodorów aromatycznych. Oprócz nich w skład oleju ciężkiego wchodzi związek azotu i siarki.

Olej opałowy ciężki jest lepki i musi być podgrzany do 60 °C by mógł być transportowany rurociągiem. Wymagana temperatura oleju na dyszy palnika w celu uzyskania odpowiednio rozpylonej mieszanki palnej jest dla oleju ciężkiego jeszcze wyższa i wynosi 100 – 160 °C. Wymagana lepkość oleju dla palników z rozpylaniem ciśnieniowym jest znacząco wyższa niż dla palników w kubkami obrotowymi, dlatego w przypadku rozpylania ciśnieniowego olej ciężki musi być podgrzewany do wyższej temperatury.

Olej opałowy ciężki zawiera do 3,5 % siarki i ma tendencję do pozostawiania zanieczyszczeń w kanałach spalinowych i otoczeniu komina. Zawarta w oleju siarka jest w całości emitowana w spalinach – im więcej jest siarki w paliwie, tym wyższa jest temperatura kondensacji spalin i większe zagrożenie korozją kwasową. Z tego względu temperatura spalin ze spalania oleju ciężkiego nie powinna być niższa niż 120 – 150 °C. Poza tym, aby spełnić normy dotyczące emisji szkodliwych spalin, konieczne jest zastosowanie specjalnych środków, np. instalacja systemu wtrysku mocznika do komory spalania.

Tych wielu wad oleju opałowego ciężkiego w porównaniu z olejem lekkim i gazem ziemnym nie rekompensuje nawet jego niższa cena.

## 4.2 Gaz ziemny

Jeżeli planowana kotłownia będzie zlokalizowana w miejscu, w którym istnieje możliwość zasilania kotła gazem ziemnym, to jest to zalecane rozwiązanie. Gaz ziemny wymaga jedynie podłączenia do sieci gazowej, nie jest potrzebne magazynowanie jego zapasów, a na dalece zliberalizowanym rynku gazowym można w każdej chwili zmienić dostawcę gazu. Stacja redukcyjno-pomiarowa gazu zajmuje także o wiele mniej miejsca niż zbiornik na olej opałowy. Ponadto gaz ziemny pochodzący z komunalnej sieci gazowej najlepiej nadaje się do wykorzystania technologii kondensacji.

→ Technika – Rozdział 3.4: Ekonomizer kondensacyjny, strona 154

Za wyborem gazu jako paliwa przemawia również fakt, że zakres regulacji palnika gazowego jest przy pracy z częściowym obciążeniem daleko lepszy niż palnika olejowego. Dla palnika olejowego zakres regulacji wynosi zazwyczaj 1:5, a dla nowoczesnego palnika gazowego może być nawet aż dwukrotnie większy (1:10).

Dla zaprojektowania kotłowni zasilanej gazem ziemnym potrzebne będą dane dotyczące gazu: wartość opałowa, ciśnienie gazu w sieci gazowej w miejscu instalacji kotła, maksymalna energia cieplna dostarczana przez przyłącze gazowe. Te informacje można uzyskać u lokalnego operatora sieci gazowej.

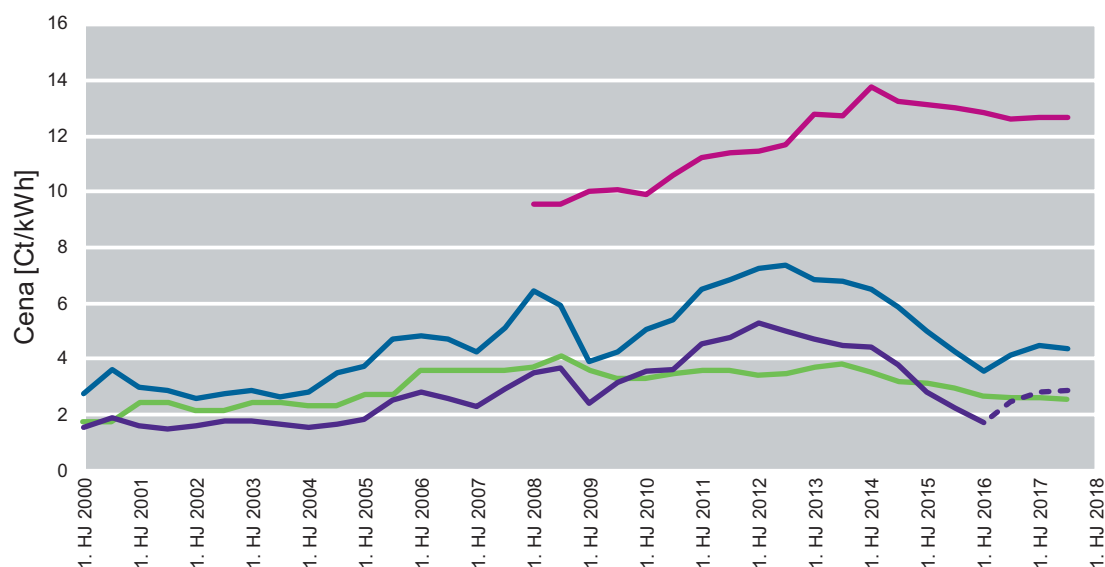
### 4.3 Kryteria wyboru paliwa: olej opałowy czy gaz ziemny?

W tabeli poniżej zebrano najważniejsze kryteria mogące mieć wpływ na decyzję o wyborze paliwa:

Kryterium	Olej opałowy lekki	Gaz ziemny	Na korzyść/ niekorzyść gazu ziemnego
Magazynowanie paliwa	Tak	Nie	+
Przyłączenie do sieci	Nie	Tak	-
Dostępność wszędzie	Tak	Nie	-
Stabilność cen	Nie	Ograniczona (→ ryc. 10)	+
Konieczność zapłaty z góry	Tak (zapas)	Nie	+
Koszt palnika	Neutralny	Wyższy	-
Zakres regulacji	Do 1:5	Do 1:8	+
Zanieczyszczenie powierzchni grzejnych	Małe	Wcale	+
Wykorzystanie ciepła kondensacji	Dobre (sprawność ≤ 99%)	Bardzo dobre (sprawność ≤ 104%)	+
Przewóz paliwa	Potrzebny	Niepotrzebny	+
Emisja szkodliwych substancji	Mała	Bardzo mała	+
Wytwarzanie CO <sub>2</sub>	~266 g <sub>CO2</sub> /kWh	~200 g <sub>CO2</sub> /kWh	+

Tab. 6 Kryteria wyboru paliwa: różnice między olejem opałowym i gazem ziemnym <sup>II)</sup>

#### Dynamika cen nośników energii dla odbiorców przemysłowych (Niemcy)



Ryc. 10 Dynamika cen nośników energii dla odbiorców przemysłowych (Niemcy) <sup>II)</sup>

- Energia elektryczna
- Olej opałowy ciężki
- Olej opałowy lekki
- Gaz ziemny

II) Federalny Urząd Statystyczny

**Uwagi <sup>III)</sup>:**

- Gaz, energia elektryczna: dane dotyczą odbiorców przemysłowych, ceny zawierają podatek akcyzowy, nie zawierają VAT
- Olej opałowy: dane dotyczą cen w hurcie, ceny zawierają podatek od olejów mineralnych i podatek od zapasów ropy naftowej, nie zawierają VAT
- Przeliczanie cen dla oleju opałowego lekkiego o gęstości 0,84 kg/l i wartości opałowej 11,89 kWh/kg
- Przeliczanie cen dla oleju opałowego ciężkiego o wartości opałowej 11 kWh/g
- Olej opałowy ciężki: konkretne dane występują tylko do grudnia 2016, potem na zasadzie ekstrapolacji przez wskaźniki cenowe

## 4.4 Inne paliwa

Jeśli oprócz gazu ziemnego lub oleju opałowego mają być używane jeszcze inne paliwa, należy bardzo starannie zbadać taką ewentualność.

W grę mogą wchodzić:

- inne gazy opałowe (np. wodór, gaz ciekły LNG)
- biopaliwa (np. gazy niskokaloryczne, biodiesel, oleje roślinne, gazy z oczyszczania ścieków i biogazy)
- zanieczyszczone produkty odpadowe z przemysłu chemicznego (np. styren, toluen)
- produkty odpadowe z innych branż przemysłu (np. tłuszcze zwierzęce, olej rybny)

Właściwości tych paliw będą szczególnie istotne dla doboru odpowiedniego palnika, dodatkowych urządzeń, kotła i odpowiednich metod odzysku ciepła ze spalin.

W tym kontekście należy zwłaszcza poświęcić uwagę:

- paliwom o dużej zawartości siarki (np. biogaz)
- paliwom zawierającym chlor (np. produkty odpadowe z przemysłu chemicznego)
- paliwom powodującym silne zanieczyszczenie powierzchni grzejnych (np. rerafinaty)
- paliwom o bardzo wysokiej kaloryczności, gdyż takie będą stanowić duże obciążenie termiczne dla płomienicy (np. wodór)

III) Federalny Urząd Statystyczny







## 5 Ustawienie kotła

Wybierając miejsce na ustawienie kotła na terenie zakładu należy wziąć pod uwagę szereg wymagań i aspektów, między innymi:

- doprowadzenie paliwa i magazynowanie paliwa,
- ilość miejsca wystarczająca dla kotłowni wraz z kominem,
- ewentualność rozbudowy kotłowni w przyszłości,
- hałas pochodzący z kotłowni (uciążliwy dla sąsiedztwa),
- rozmieszczenie hal produkcyjnych na terenie zakładu (droga od źródła ciepła do odbiorników musi być możliwie najkrótsza),
- strefy pożarowe,
- aspekty architektoniczne i aranżacyjne.

Bywa, że niemożliwe jest spełnienie w pełni wszystkich wymagań jednocześnie, zwłaszcza w sytuacji gdy mamy do czynienia z zakładem istniejącym od dawna, rozwijającym i rozrastającym się na przestrzeni długiego okresu czasu. Żadna lokalizacja nie będzie optymalna pod wszystkimi względami, wybór musi być najczęściej kompromisem między niezbędnymi wymaganiami techniczno-eksploatacyjnymi a kosztami.

### 5.1 Pomieszczenie ustawienia kotła

W tym rozdziale omawiamy kilka podstawowych warunków, jakie musi spełniać budynek/pomieszczenie kotłowni. Zamieszczone tu informacje mają służyć jedynie pomocą w projektowaniu. Oprócz tego należy sprawdzić wszystkie istotne dla projektu przepisy krajowe i lokalne oraz właściwe normy.

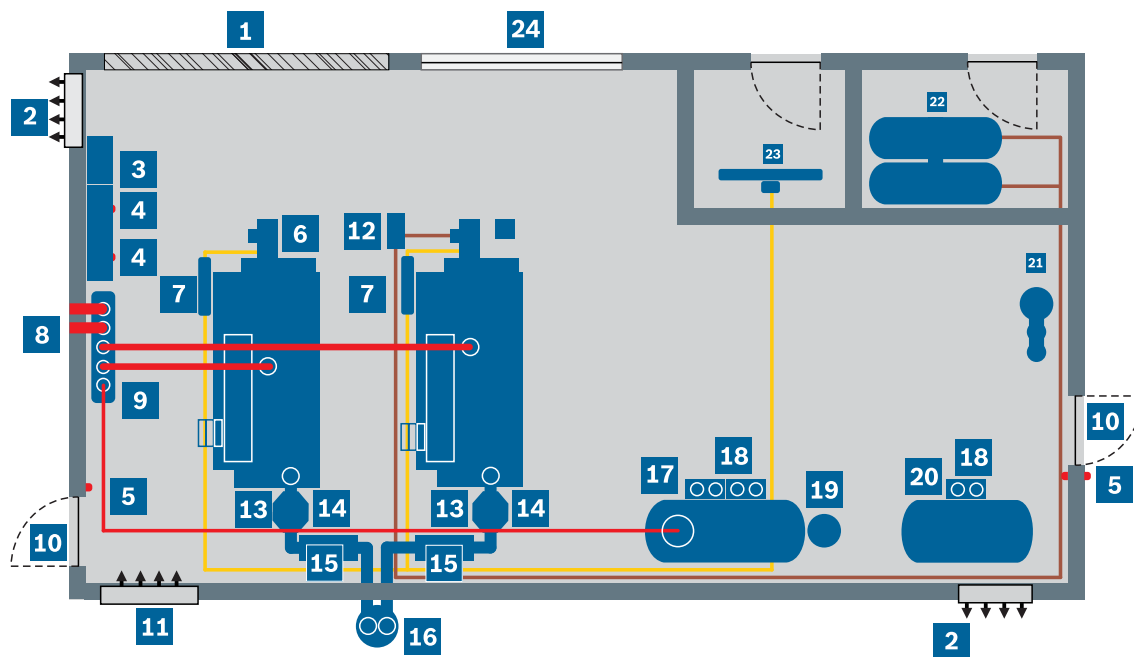
→ Informacja Techniczna TI024: Wymagania dla pomieszczenia kotłowni – Zasady ustawiania kotłów i komponentów kotłowni

#### Podstawowe wymagania

Pomieszczenie kotłowni powinno spełniać następujące warunki:

- powinno być czyste, wolne od pyłu i kapiącej wody,
- temperatura w pomieszczeniu musi mieścić się w zakresie między 5 °C i 40 °C,
- osoby nieupoważnione nie powinny mieć dostępu do kotłowni,
- pomieszczenie musi spełniać miejscowe przepisy w zakresie ochrony przed hałasem,
- szafy sterownicze należy zamontować w taki sposób, aby nie mogły być na nie przenoszone wibracje lub drgania mechaniczne z innych komponentów instalacji,
- szafy sterownicze należy ułożyć w miejscach bezpiecznych od niedopuszczalnie wysokich temperatur i z zapewnionym dostępem w sytuacjach zagrożenia,
- kotłownia powinna posiadać układ sprężonego powietrza do zasilania zaworu odmulającego i ewentualnie innych siłowników pneumatycznych,
- pomieszczenie powinno mieć położone naprzeciw siebie wyjścia ewakuacyjne z wyłącznikami awaryjnymi,
- pomieszczenie powinno mieć dostateczne oświetlenie, szczególnie w miejscach, w których znajdują się armatury i zawory bezpieczeństwa,
- ściany i sufit pomieszczenia powinny być przygotowane do zamocowania do nich przewodów rurowych,

- pomieszczenie kotłowni powinno mieć w jednej ze ścian zewnętrznych lub suficie możliwie zwartą odsłoniętą powierzchnię o wielkości co najmniej 1/10 powierzchni podłogi (lub zgodnie z lokalnymi wymogami), która w razie wystąpienia nadciśnienia otworzy się uwalniając ciśnienie z kotłowni. Projektując powierzchnię uwalniającą ciśnienie należy stosować się obowiązujących w tym zakresie przepisów krajowych i lokalnych oraz odnośnych norm.



Ryc. 11 Przykład budynku kotłowni (ilustracja przedstawia kotłownię w uproszczeniu)

- |                                                  |                                              |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>1</b> Otwór na wprowadzenie kotła do kotłowni | <b>13</b> Zintegrowany ekonomizer ECO        |
| <b>2</b> Odprowadzanie powietrza (góra)          | <b>14</b> Kondensacyjny wymiennik ciepła     |
| <b>3</b> Sterowanie systemem SCO                 | <b>15</b> Tłumik hałasu                      |
| <b>4</b> Sterowanie kotłem BCO                   | <b>16</b> Komin                              |
| <b>5</b> Wyłącznik awaryjny                      | <b>17</b> Moduł przygotowania wody WSM       |
| <b>6</b> Kocioł                                  | <b>18</b> Moduły pompy PM                    |
| <b>7</b> Moduł regulacji gazu GRM                | <b>19</b> Moduł rozprężania BEM              |
| <b>8</b> Przewody parowe do odbiorników          | <b>20</b> Moduł gromadzenia kondensatu CSM   |
| <b>9</b> Kolektor pary SD                        | <b>21</b> Moduł przygotowania wody WTM       |
| <b>10</b> Wyjście ewakuacyjne                    | <b>22</b> Zbiorniki na olej                  |
| <b>11</b> Doprowadzanie powietrza (dołem)        | <b>23</b> Stacja redukcyjna gazu             |
| <b>12</b> Moduł dostarczania oleju OSM           | <b>24</b> Powierzchnia uwalniająca ciśnienie |

- Para
- Gaz
- Olej

Oznaczenie przewodów rurowych zgodnie z DIN 2403  
 → Narzędzia – Tab. 76, strona 416



## Dostępność

Kocioł i komponenty instalacji należy rozmieścić w taki sposób, aby zainstalowane armatury, czujniki i wszystkie otwory rewizyjne były łatwo dostępne. Umieszczenie kotła i niektórych komponentów instalacji tuż przy ścianie jest uzasadnione tylko w wyjątkowych okolicznościach. Należy zachować przestrzeń szeroką na co najmniej 1 metr zapewniającą swobodny dostęp do strony obsługowej kotła i innych urządzeń oraz odpowiednią wysokość stref przeznaczonych do chodzenia.

## Fundament i posadowienie kotła

Fundament i posadowienie kotła muszą spełniać następujące warunki:

- posadzka w miejscu posadowienia kotła musi być absolutnie równa (tolerancje równości posadzki określa norma EN-13318) i mieć dostateczną wytrzymałość;
- przy obliczaniu nośności fundamentu należy wziąć pod uwagę maksymalny ciężar komponentów instalacji w stanie roboczym. Przy ustalaniu ciężaru w stanie roboczym należy uwzględnić wszystkie dodatkowe komponenty kotłowni (szafy sterownicze, palnik, tłumiki hałasu, kanały spalinowe itd.) i odpowiednio dodać ich ciężar. Ciężar komponentu w stanie roboczym jest jego ciężarem w stanie napełnionym wodą;
- kanały podłogowe należy zakryć i zaopatrzyć w odpowiednie odwodnienie;
- otwór do wprowadzenia kotła do pomieszczenia kotłowni powinien mieć wymiary pozwalające na wprowadzenie każdego komponentu kotłowni. Do przemieszczania ciężkich urządzeń w pomieszczeniu kotłowni należy użyć odpowiednich podnośników;
- jeżeli z powodu dźwięków materiałowych wymagane jest oddzielenie między powierzchnią ustawienia a kotłem, to należy położyć podkładki tłumiące dźwięki materiałowe przed posadowieniem kotła.

## Otwory nawiewne i wywiewne

Napływające powietrze musi być pozbawione ciał obcych, nie może w żadnym wypadku zawierać pyłu ani składników korozyjnych czy wybuchowych, jak na przykład rozpuszczalniki czy chłodziwa. W przypadku kotłów odzyskowych w połączeniu z agregatem wytwarzającym ciepło odpadowe (moduł kogeneracyjny lub turbina gazowa) należy stosować się do dodatkowych instrukcji producenta agregatu będącego źródłem gazów wylotowych.

Jeżeli kotłownia nie jest dostatecznie przewiewna i doprowadzane do palnika powietrze do spalania jest zasysane nie bezpośrednio z pomieszczenia (tzn. przez kanały powietrza z innych pomieszczeń albo z zewnątrz), należy przewidzieć jeden lub więcej systemów kontroli stężenia CO w pomieszczeniu kotłowni.

Idealnym miejscem na otwór nawiewny jest obszar z tyłu kotła. Jeżeli architektura budynku nie pozwala na umieszczenie otworu nawiewnego w tym miejscu, należy zainstalować blachy kierunkowe i kanały blaszane w pomieszczeniu kotłowni do przekierowania zasysanego powietrza. Przy projektowaniu otworów nawiewnych należy też uwzględnić rozmieszczenie komponentów instalacji wrażliwych na niską temperaturę (np. moduły przygotowania wody), które nie mogą być ustawione na drodze strumienia zimnego powietrza.

W kotłowni muszą także znaleźć się otwory wywiewne. Służą one do odprowadzania ciepła gromadzącego się pod sufitem (co ma miejsce nawet przy niewielkich stratach ciepła w kotłowni).

Otwory nawiewne powinny znajdować się 500 mm nad posadzką pomieszczenia kotłowni, otwory wywiewne w najwyższym punkcie pomieszczenia. Należy też odpowiednio zadbać o wentylację przewietrzającą.

Otwory nawiewne i wywiewne należy zaprojektować w taki sposób, aby w pomieszczeniu kotłowni panowało ciśnienie +/- 0 mbar. Przedstawione poniżej wzory matematyczne są jedynie niewiążącym zaleceniem. W tej sprawie wykonawca instalacji ma bezwzględnie porozumieć się z właściwymi organami wydającymi pozwolenie lub organami budowlanymi. W ustalaniu wielkości otworów należy wziąć pod uwagę dodatkowe odbiorniki doprowadzanego powietrza (np. sprężarki).

Grupa	Granice	Przekroje otworów nawiewnych (wzory)
GR 1	$\dot{Q} \leq 2000 \text{ kW}$	$AGR 1 = 300 + (\dot{Q} - 50) \cdot 2,5$
GR 2	$2000 \text{ kW} < \dot{Q} \leq 20000 \text{ kW}$	$AGR 2 = 5175 + (\dot{Q} - 2000) \cdot 1,75$
GR 3	$20000 \text{ kW} < \dot{Q}$	$AGR 3 = 36675 + (\dot{Q} - 20000) \cdot 0,88$

$A_{GR}$  Prześwit otworu netto [cm<sup>2</sup>]

$\dot{Q}$  Moc cieplna

Stosunek boków powinien wynosić maksymalnie 1:2. Wymagane przekroje otworów wywiewnych netto wynoszą ok. 60 % przekrojów otworów nawiewnych brutto.

Podane przekroje należy rozumieć jako prześwity otworów wentylacyjnych (przekroje netto) otworów wentylacyjnych. Dodatkowo należy uwzględnić elementy zasłaniające otwory, jak np. kratki czy lamele.

Jeśli powietrze do spalania jest doprowadzone do palnika kanałami zasysającymi powietrze, należy zwrócić uwagę na to, aby przewody miały kształt korzystny dla strumienia przepływu powietrza i dostateczne wymiary, aby nie powodować strat ciśnienia. Stratę ciśnienia trzeba także uwzględnić przy projektowaniu paleniska (palnika). Kondensat, zbierający się ewentualnie w kanałach zasysania powietrza, musi być pewnie i trwale odprowadzany przed wentylatorem palnika.

### Przewody rurowe

Przewody rurowe muszą spełniać wymagania określone w przepisach krajowych i lokalnych oraz właściwych normach z uwzględnieniem strat ciśnienia i prędkości przepływu.

Orientacyjne wielkości do wymiarowania, wybór materiałów i wiele innych informacji na ten temat zamieszczono w części „Technika”.

→ Technika – Rozdział 5.1: Przewody rurowe, strona 213

## 5.2 Warunki ustawienia kotła

Panujące w miejscu ustawienia kotła warunki, takie jak wysokość n.p.m., bliskość wybrzeża, warunki architektoniczne czy zasilanie elektryczne mają istotne znaczenie dla projektu kotłowni parowej.

Wysokość położenia, która determinuje ciśnienie i gęstość powietrza panujące w miejscu ustawienia kotła, ma wpływ na obliczenie wentylatora palnika. Jeśli jest bardzo duża > 1000 m, trzeba wziąć pod uwagę dodatkowe aspekty, jak na przykład słabsze chłodzenie silników pomp.

Miejsce położone niedaleko wybrzeża oznacza zasolone powietrze, które będzie stwarzać większe zagrożenie korozją, a przez to niekorzystnie wpłynie na materiały użyte do wykonania palnika czy budowy komina.

Zasilanie elektryczne (napięcie i częstotliwość) muszą być brane pod uwagę przy projektowaniu szaf sterowniczych i silników (wentylatorów, pomp i zaworów).





## 6 Prawo

Kotłownie parowe są instalacjami wymagającymi regularnych inspekcji i są objęte różnymi uregulowaniami prawnymi dotyczącymi zagadnień związanych z produkcją komponentów, projektowaniem i budową oraz użytkowaniem instalacji kotłowych na wszystkich szczeblach ustawodawstwa (i dozoru). Chodzi tu o m.in.:

- **dyrektywy i rozporządzenia unijne**, np. dyrektywa w sprawie urządzeń ciśnieniowych PED, dyrektywa maszynowa (MD), dyrektywa niskonapięciowa (LVD), dyrektywa w sprawie urządzeń spalających paliwa gazowe (GAD), dyrektywa kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), dyrektywa w sprawie substancji niebezpiecznych i dyrektywa w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej;
- **ustawy i rozporządzenia krajowe**, np. rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa użytkowania sprzętu roboczego, ustawy w sprawie emisji i imisji szkodliwych zanieczyszczeń, ustawy i rozporządzenia z zakresu bhp, rozporządzenia dotyczące substancji niebezpiecznych, ustawa Prawo wodne;
- **przepisy regionalne i lokalne**, np. prawo budowlane, przepisy z zakresu ochrony wód, przepisy z zakresu pożarnictwa, dodatkowe wymagania dotyczące szkodliwych emisji

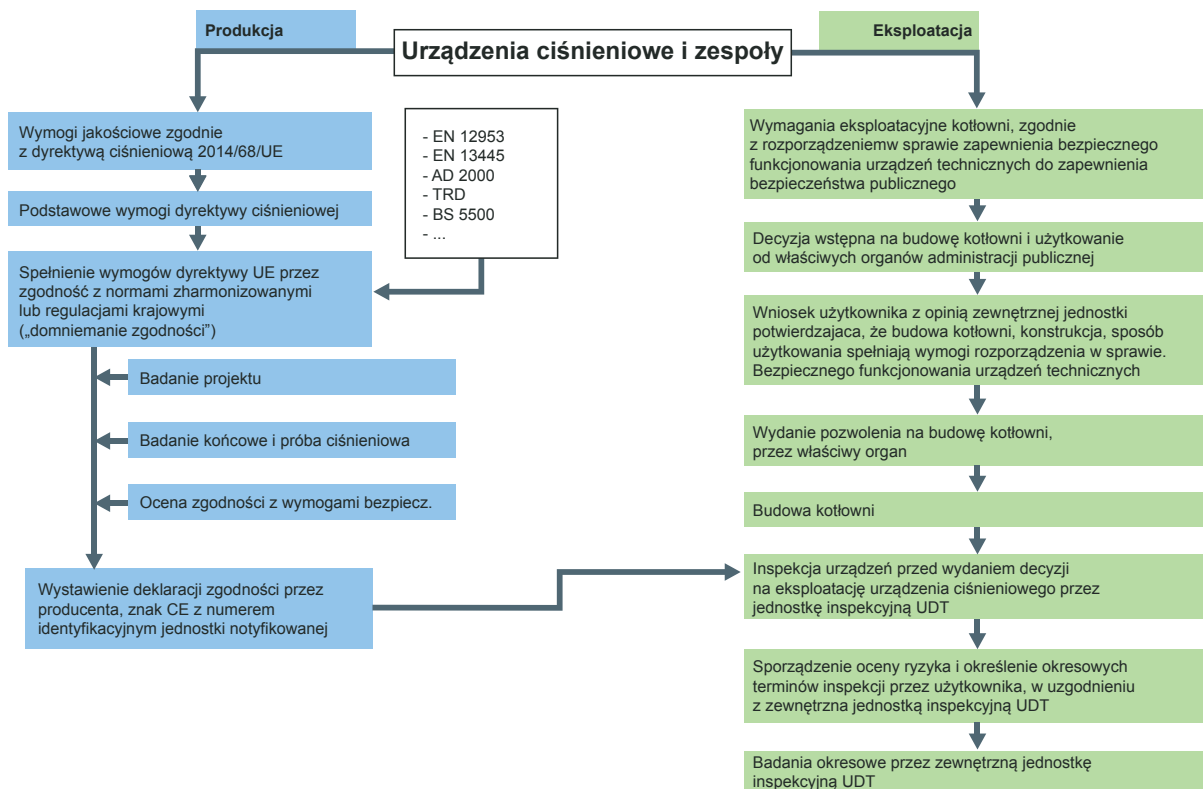
W dalszej części tego rozdziału są omówione ustawy, dyrektywy, rozporządzenia i normy dotyczące montażu i użytkowania kotłowni parowych z podziałem na grupy:

- Wytwarzanie kotłów
- Ustawy dotyczące emisji i imisji szkodliwych zanieczyszczeń
- Regulacje dotyczące wydawania pozwoleń/zezwoleń na użytkowanie
- Eksploatacja instalacji kotłowych

Oprócz wspomnianych regulacji stosuje się także szereg innych obowiązujących dyrektyw unijnych, ustaw i przepisów krajowych.

Poniższy schemat przedstawia podstawową procedurę postępowania zgodnie z dyrektywą 2014/68/UE w zależności od produkcji, do której stosuje się prawo europejskie, oraz eksploatacji, do której stosuje się przede wszystkim prawo krajowe.

**Dyrektywa w sprawie urządzeń ciśnieniowych 2014/68/UE  
Wprowadzenie do obrotu i eksploatacja kotłów przemysłowych**



**Ryc. 12** Wymagania zasadnicze i procedury oceny zgodności dla produkcji i eksploatacji w oparciu o dyrektywę w sprawie urządzeń ciśnieniowych 2014/68/UE <sup>IV)</sup>

**Dyrektywa ciśnieniowa:** Dyrektywa w sprawie urządzeń ciśnieniowych 2014/68/UE

**Budowa kotłowni:** Decyzja pozwolenia na budowę

**UDT Inspekcja:** Akredytowana Jednostka Inspekcyjna UDT

IV) TÜV Rheinland

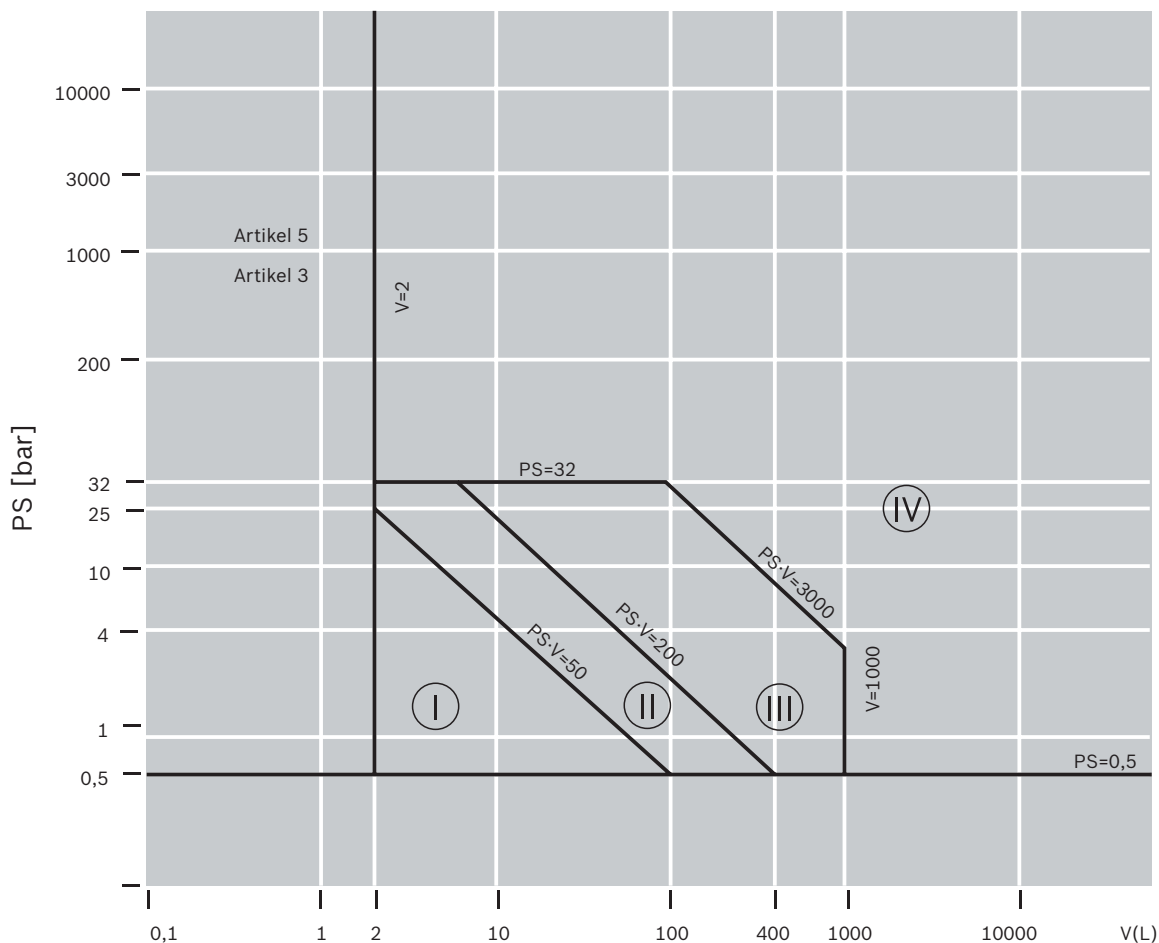




## 6.1 Wytwarzanie kotłów

Wytwarzanie i sprzedaż kotłów regulowane jest prawem krajowym poprzez implementację europejskiej dyrektywy w sprawie urządzeń ciśnieniowych (Dyrektywie PED 2014/86/UE) - wdrożenie do polskiego prawa przez rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 11 lipca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych. W rozporządzeniu określono wymagania w zakresie projektowania oraz wytwarzania urządzeń ciśnieniowych i zespołów, materiałów wykorzystywanych do ich produkcji, stosowne dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów procedury oceny zgodności oraz zawarto obowiązek sporządzenia deklaracji zgodności UE. Rozporządzenie wdraża obowiązujące na obszarze UE ujednolicone wymagania projektowe, umożliwiające swobodne udostępnianie na rynku urządzeń ciśnieniowych, a więc wprowadzenie ich do obrotu i oddanie do użytku (pierwsze użycie urządzenia przez jego użytkownika). Producenci kotłów muszą poddawać swoje wyroby procesowi oceny zgodności, którego zwieńczeniem jest wystawienie deklaracji zgodności UE i oznakowanie wyrobu znakiem CE.

Granicznym warunkiem, który definiuje czy kocioł lub zbiornik ciśnieniowy podlega pod dyrektywę ciśnieniową jest maksymalne dopuszczalne ciśnienie 0,5 bar. Jeżeli maksymalne ciśnienie robocze kotła lub zbiornika ciśnieniowego nie przekracza 0,5 bar, jak ma to miejsce np. w przypadku kotła niskociśnieniowego, przy jego produkcji stosuje się tzw. uznane praktyki inżynierskie. Dla wszystkich pozostałych kotłów parowych przypisana jest odpowiednia kategoria określona w załączniku II do dyrektywy ciśnieniowej, odpowiednio do wzrastającego zagrożenia spowodowanego ciśnieniem. Czynnikiem klasyfikującym urządzenia w poszczególnych kategoriach jest iloczyn pojemności wodnej i maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego. Większość kotłów parowych jest zaliczona do kategorii IV.



Ryc. 13

Klasyfikacja kotłów parowych w poszczególnych kategoriach zgodnie z dyrektywą ciśnieniową

Liczne certyfikaty i dopuszczenia naszych wyrobów w ponad 140 krajach na świecie świadczą o wysokich standardach jakości i produkcji utrzymywanych przez Bosch Industriekessel GmbH. Wszystkie kotły, podzespoły kotłów i komponenty kotłowni marki Bosch spełniają normy zawarte w obowiązujących unijnych dyrektywach w zakresie oznakowania CE, w szczególności wymogi dyrektywy w sprawie urządzeń ciśnieniowych i dyrektywy w sprawie urządzeń spalających paliwa gazowe, w oparciu o standardy techniczne (m.in. niemieckie standardy TRD, AD 2000 oraz normy europejskie, np. EN 12953). Większość naszych kotłów i komponentów kotłowni posiada badanie typu WE. Nietypowe rozwiązania, dostosowane do indywidualnych wymagań klienta, otrzymują w fabryce indywidualną decyzję zezwalającą na użytkowanie wydaną przez oficjalny instytut badawczy.

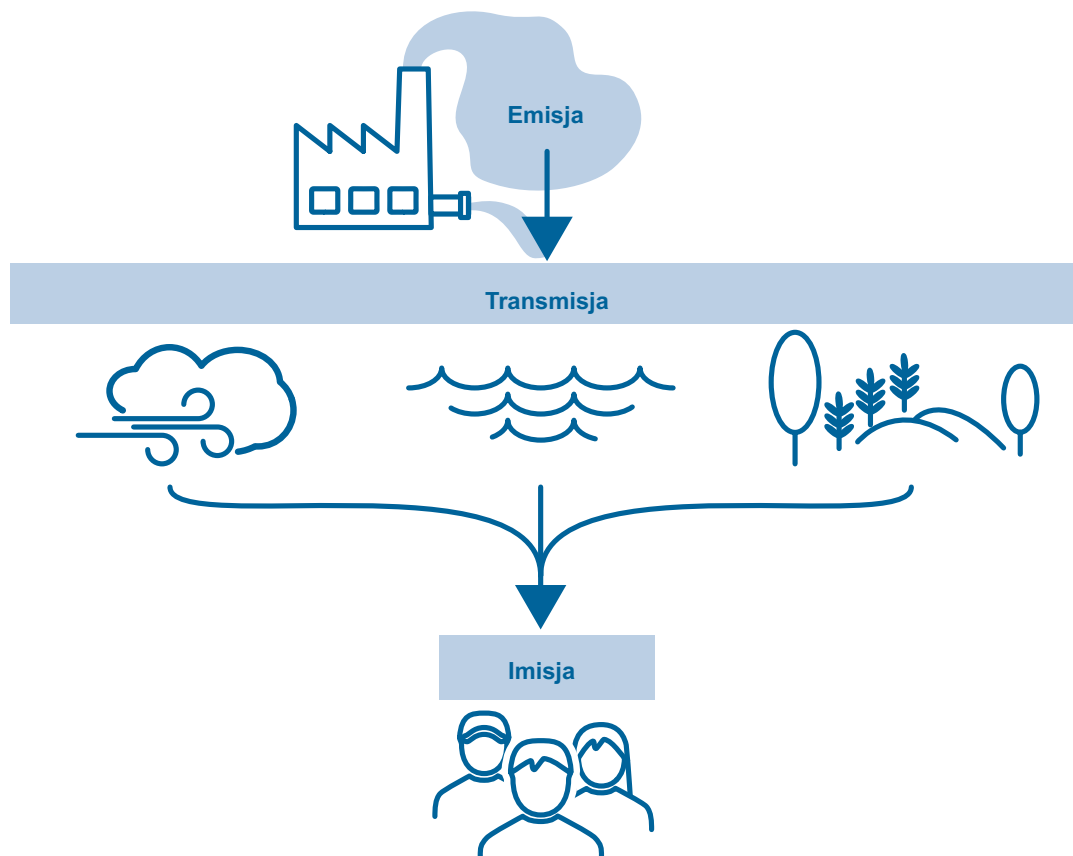
Nasze wyroby spełniają szereg aktualnie obowiązujących i uznanych standardów w krajach pozaunijnych, np. EAC (Euroazjatycka Unia Celna), TSG G0001 (Chiny), SVGW/VKF (Szwajcaria), SI 4280 (Izrael) i wiele innych. Nasze wyposażenie dla systemów kotłowych spełnia wymogi normy EN 12953 dopuszczające 72-godzinną pracę instalacji kotłowej bez stałego nadzoru.

W zakładach produkcyjnych Bosch Industriekessel stosujemy systemy zarządzania jakością certyfikowane zgodnie ze standardami EN ISO 9001, EN ISO 14001, Modułu D dyrektywy ciśnieniowej, SI 430 (Izrael), MLSE (Chiny). Ponadto Bosch Industriekessel posiada jako wytwórca certyfikat zgodności z normą EN ISO 3834 (część 2) określającą wymagania jakości dotyczące spawania materiałów metalowych. Nasze płomienie falowane posiadają dopuszczenie zgodnie z wymogami TRD i dyrektywy ciśnieniowej. Jesteśmy także certyfikowanym przedsiębiorstwem serwisującym instalacje kotłowe, świadczącym swe usługi w ramach międzynarodowej sieci serwisowej w ponad 140 krajach na świecie. W wybranych krajach nasz serwis jest do dyspozycji klientów całodobowo.



## 6.2 Emisje i imisje

W większości krajów na świecie istnieje szereg przepisów ma na celu ochronę środowiska naturalnego i człowieka przed szkodliwym wpływem emitowanych zanieczyszczeń. Zagadnienie szkodliwych emisji i imisji szkodliwych czynników wiąże się z użytkowaniem kotłów parowych, w ich projektowaniu należy uwzględnić wymagane przepisami limity w tym zakresie.



Ryc. 14 Rozróżnienie emisji, transmisji i imisji

- **Emisja** to wprowadzanie do środowiska czynników szkodliwych. Występuje np. w związku z działalnością elektrociepłowni, zakładów przemysłowych, użytkowaniem pojazdów. Źródło (osoba lub rzecz), które emituje szkodliwy czynnik jest nazywane emitorem.
- **Transmisja** to rozchodzenie się szkodliwych czynników w powietrzu, wodzie, glebie.
- **Imisja** to ładunek szkodliwych czynników w powietrzu, wodzie lub glebie, który w następstwie emisji i transmisji oddziałuje na człowieka i inne organizmy.

### W kontekście instalacji kotłowych występują i są objęte regulacjami prawnymi emisje:

- szkodliwych gazów do powietrza (spaliny z palenisk)
  - związków azotu ( $\text{NO}_x$ )
  - dwutlenku siarki ( $\text{SO}_2$ )
  - tlenku węgla (CO)
- hałasu
- ścieków i substancji niebezpiecznych dla wody, np.:
  - transport, magazynowanie i rozprowadzanie substancji zanieczyszczających wodę (np. oleju opałowego)
  - odprowadzanie ścieków wymagających utrzymania należytego składu (pH, temperatura)

## 6.3 Instalacje paleniskowe

### 6.3.1 Unijne przepisy i dyrektywy

W Europie ramy prawne w tym zakresie nadają niżej wymienione dyrektywy, które określają minimalne wymagania dla instalacji paleniskowych. W poszczególnych krajach i regionach mogą obowiązywać bardziej szczegółowe przepisy.

Zakres obowiązywania/ Moc paleniska	Dyrektywa
≤ 400 kW	<b>EUP</b> Dyrektywa w sprawie ekoprojektu 2005/32/WE, obejmująca swoim zakresem urządzenia zużywające energię stosowane na obszarze UE
1 ... 50 MW	<b>MCPD</b> Dyrektywa UE 2015/2193 w sprawie ograniczenia niektórych zanieczyszczeń do powietrza ze średnich obiektów energetycznego spalania
> 50 MW	<b>IED</b> Dyrektywa 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola)

**Tab. 7** Zakres obowiązywania unijnych dyrektyw w odniesieniu do palenisk

Pomiędzy mocą 400 kW a mocą 1 MW istnieje luka, którą wypełniają przepisy prawa krajowego bez wytycznych ze strony Parlamentu Europejskiego i Rady UE. Poza tym ważna kwestia oceny emisji nie jest ujęta w dyrektywach unijnych i może być traktowana rozmaicie w różnych krajach.

W przypadku instalacji z więcej niż jednym źródłem spalania paliw należy zsumować moce odrębnych źródeł, podstawę stanowią tu zapisy dyrektyw MCPD i IED, zgodnie z którymi odrębne źródła mogą być uznane za jedno źródło, jeśli spaliny są lub mogą być zdaniem właściwych organów odprowadzane przez wspólny komin.

W tym zakresie dyrektywy unijne również pozostawiają ustawodawcom krajowym pewien margines swobody, przez co instalacje w różnych częściach Europy mogą być różnie pod tym kątem oceniane.



## 6.4 Pozwolenia

Generalnie instalacja systemów kotłów parowych wymaga zatwierdzenia ze strony urzędów kontrolnych lub pozwoleń. Sposób i zakres wykonywania procedur zatwierdzających zależy od lokalnych uwarunkowań prawnych. Procedura zwykle obejmuje wizytę eksperta uprawnionej do tego instytucji na planowanym obiekcie

## 6.5 Eksploatacja

W trybie eksploatacji systemu kotłów parowych zastosowanie mają lokalne przepisy obejmujące różne aspekty prawne, z których typowe to:

- przepisy dotyczące kotłów
- bezpieczeństwo i higiena pracy
- przepisy o ochronie środowiska
- bezpieczeństwo pożarowe

W związku z tym należy mieć na uwadze m.in. następujące zagadnienia:

- sporządzanie i regularna weryfikacja oceny zagrożeń,
- ustalanie terminów okresowych inspekcji kotła i całej instalacji, potwierdzanie ustalonych terminów z zewnętrzną jednostką inspekcyjną,
- szkolenie personelu obsługi
- dostępność instrukcji obsługi,
- wdrażanie podanych w instrukcjach obsługi informacji wskazujących zagrożenia w instrukcjach zakładowych,
- sporządzanie list kontrolnych dla operatora kotła,
- prowadzenie książki ruchu kotła,
- regularne konserwacje instalacji kotłowej przez personel obsługi i serwisantów,
- przeprowadzanie okresowych przeglądów kotła





# Unikanie błędów

<b>1</b>	<b>W projektowaniu</b>	<b>75</b>
1.1	Zapotrzebowanie na parę	75
1.2	Zasilanie paliwem	76
1.3	Pomieszczenie kotłowni	77
<b>2</b>	<b>Podczas instalacji</b>	<b>79</b>
2.2	Zamocowania rur	85
<b>3</b>	<b>Podczas eksploatacji</b>	<b>87</b>
3.1	Monitorowanie jakości wody	88
3.2	Kawitacja w pompach	91
3.3	Regulacja paleniska	92
3.4	Zanieczyszczenia i osady w rurach	94
3.5	Ignorowanie wyposażenia bezpieczeństwa	98
3.6	Praca w niebezpiecznych warunkach	99



## Wyciąganie nauki z błędów



Mądry człowiek nie popełnia wszystkich błędów sam. Innym też daje szansę.”

Winston Churchill <sup>IV)</sup>

Założeniem tego rozdziału jest wskazanie Państwu na kilku przykładach, jakie błędy mogą zdarzyć się podczas projektowania, instalacji i eksploatacji kotłowni parowych.

Trzeba jednak mieć zawsze świadomość, iż:

- istnieje nieskończenie wiele błędów możliwych do popełnienia, ale tylko jedno optymalne rozwiązanie dla instalacji;
- każdy możliwy błąd zostanie z pewnością popełniony.

W niniejszym rozdziale dzielimy najczęściej spotykane błędy na popełniane:

- w projektowaniu,
- podczas instalacji (wzgl. projektowaniu detali) i
- podczas eksploatacji kotłowni parowych. W krótszej lub dłuższej perspektywie czasu te błędy dadzą o sobie znać w postaci uszkodzenia kotła, wystąpienia sytuacji potencjalnie niebezpiecznej, pogorszenia efektywności kotłowni lub innych problemów z użytkowaniem. Nikt nie jest w stanie przewidzieć wszystkich możliwych błędów.

Największym z nich będzie jednak ten, którego nie ujawnimy. Podając przykłady Państwo też mogą przyczynić się do uniknięcia dalszych błędów.

---

IV) ) „Cytaty dla managerów: Ponad 2600 przysłów i powiedzeń dla czytelnego komunikowania”, 2018



# 1 W projektowaniu

Błędy w projektowaniu często zdarzają się z powodu niedostatecznej wiedzy o późniejszym użytkowaniu lub wskutek tego, że zasadnicze potrzeby instalacji kotłowej nie zostały odpowiednio uwzględnione.

Najlepszym rozwiązaniem jest staranna weryfikacja wszystkich zebranych informacji wspólnie ze wszystkimi stronami biorącymi udział w projekcie. Zwłaszcza w sytuacji, gdy projekt jest realizowany w dłuższym okresie czasu mogą pojawić się spore różnice w stosunku do pierwotnych założeń.

## 1.1 Zapotrzebowanie na parę

### 1.1.1 Przewymiarowanie kotła

Przewymiarowanie kotła nie stwarza co prawda problemu dla samego działania kotłowni parowej, ale za to powoduje niepotrzebne dodatkowe koszty eksploatacji, a częste włączenia i wyłączenia palnika stanowią duże termiczne obciążenie płomienicy skutkujące szybszym jej zużyciem.

Przewymiarowanie powszechnie spotyka się tam, gdzie projektanci zakładają zbyt wiele niepotrzebnych rezerw w instalacji. Użytkownik przewiduje dalszą rozbudowę swojej kotłowni, więc projektant na wszelki wypadek sporo zawyża moc kotła, a do tego przecież wiele komponentów posiada już własne rezerwy zaprojektowane przez ich producentów.

- Problemy:**
- dodatkowe nieuzasadnione koszty eksploatacji
  - szybsze zużycie podzespołów wskutek częstych włączeń i wyłączeń palnika
- Przyczyna:**
- moc zainstalowanego kotła jest większa niż rzeczywiste zapotrzebowanie na parę
- Środki zaradcze:**
- staranne ustalenie faktycznego zapotrzebowania na parę
  - zaprojektowanie instalacji na najmniejsze możliwe niskie obciążenie
  - opracowanie koncepcji użytkowania kotła na niskim obciążeniu
  - zainstalowanie palnika o mniejszej mocy

→ Maksymalne zapotrzebowanie na parę, Strona 49

### 1.1.2 Niedowymiarowanie kotła

Niedowymiarowanie kotła pociąga za sobą spore problemy w eksploatacji. Ciśnienie pary w kotle pozbawionym odpowiednich funkcji zabezpieczających spada daleko poniżej normalnego średniego ciśnienia roboczego kotła. Para porywa coraz więcej wody kotłowej i pojawiają się zakłócenia spowodowane ogromnymi fluktuacjami poziomu wody w kotle.

- Problemy:**
- spadek ciśnienia pary
  - wzrost wilgotności pary
  - niemożność osiągnięcia mocy grzewczej
- Przyczyna:**
- moc zainstalowanego kotła jest mniejsza niż rzeczywiste zapotrzebowanie na parę
- Środki zaradcze:**
- staranne ustalenie faktycznego zapotrzebowania na parę
  - uwzględnienie dużych skoków obciążenia
  - planowanie zastosowania sterowania kaskadowego

## 1.2 Zasilanie paliwem

W przypadku palników opalanych gazem należy zwrócić szczególną uwagę na ciśnienie gazu na dopływie do palnika przy pełnym obciążeniu kotła. Jeżeli ciśnienie gazu jest za niskie, wystąpią zakłócenia w pracy paleniska. Niekiedy projektant podaje dostawcy gazu ciśnienie gazu wymagane już bezpośrednio na module regulacji gazu nie zważając na występujące opory w przewodzie gazowym w drodze od stacji redukcyjno-pomiarowej do modułu. Należy też zwrócić uwagę na to, aby zachować wystarczającą różnicę między ciśnieniem gazu wymaganym dla pracy kotła i ciśnieniem gazu ustawionym na ogranicznikach ciśnienia bezpieczeństwa, aby te ostatnie nie zadziałały z chwilą zamknięcia podwójnych elektrozaworów paleniska.

- Problemy:**
- kocioł nie osiąga pełnej mocy
  - częste usterki palnika
- Przyczyna:**
- za niskie ciśnienie gazu na dopływie do modułu regulacji gazu
  - silne wahania ciśnienia gazu
  - zabrudzenie filtra gazu
- Środki zaradcze:**
- prawidłowe zaprojektowanie przewodu gazowego
  - czyszczenie filtra gazu
  - uwzględnienie wszystkich oporów między stacją redukcyjno-pomiarową gazu i modulem regulacji gazu przy maksymalnym obciążeniu kotła



## 1.3 Pomieszczenie kotłowni

Dla zapewnienia bezpiecznego spalania otwory nawiewne w pomieszczeniu kotłowni muszą mieć dostatecznie duże rozmiary i pozostawać odsłonięte przez cały czas pracy palnika. Brak dostatecznego dopływu świeżego powietrza do kotłowni, a więc i powietrza do spalania, może być przyczyną zarostania sadzą, a nawet gwałtownego zapłonu i w konsekwencji poważnego uszkodzenia kotła.

Jeżeli w pobliżu otworów nawiewnych znajdują się wrażliwe na mróz przewody, np. świeżej wody, należy zabezpieczyć je przed zamarzaniem zimą.

W pomieszczeniu kotłowni muszą także znajdować się otwory wywiewne, którymi będzie uchodzić ciepło gromadzące się pod sufitem kotłowni. Izolacje kotłów, przewodów i armatur są coraz lepsze i przenika przez nie coraz mniej ciepła. Jednak pomimo tego ciepło utrzymujące się w kotłowni musi być z niej odprowadzane. Zbyt wysoka temperatura w kotłowni może być przyczyną zakłóceń w działaniu elektronicznych urządzeń sterujących.

**Problemy:**

- brak powietrza do spalania (powstaje tlenek węgla)
- podciśnienie w kotłowni
- nadmierny wzrost temperatury w kotłowni
- ryzyko zamarzania przewodów przy otworach nawiewnych

**Przyczyna:**

- za małe otwory nawiewne
- otwory wywiewne
- zabrudzenie filtra gazu

**Środki zaradcze:**

- prawidłowe zaprojektowanie otworów nawiewnych i wywiewnych
- zabezpieczenie przewodów przed zamarzaniem



R. Nuber  
**BOSCH**

**BOSCH**  
C-1000





## 2 Podczas instalacji

Błędy podczas instalacji zdarzają się bezustannie, ponieważ wykonawcy biorący udział w dużych projektach najczęściej spotykają się ze sobą dopiero po raz pierwszy i muszą zwracać szczególną uwagę na zgodne współdziałanie na styku obszarów swoich kompetencji oraz stosować się do wielu instrukcji montażu różnych producentów. Często też muszą pracować pod presją czasu. Potem okazuje się, że wykonawcy rurociągów dla różnych branż nie uzgadniają wzajemnie zakresu swoich robót i kto pierwszy jest na miejscu, ten pierwszy montuje nie zważając na instalacje, które nadejdą po nim.

Do tego występują błędy techniczne, jak np. liczniki zainstalowane niezgodnie z kierunkiem przepływu czynnika albo złe przyłącza wymiennika ciepła lub zaworów bezpieczeństwa, które zostają zauważone podczas uruchomienia i muszą być poprawione.

Niestety coraz częściej spotyka się urządzenia czy rurociągi zainstalowane nieprawidłowo lub w sposób nieoptymalny. Taki stan staje się źródłem problemów, których nie da się stwierdzić od razu podczas uruchomienia i odbioru, a które spowodują stałe pogarszanie się działania instalacji. Takie błędy są źródłem:

- zawyżonych niepotrzebnie kosztów inwestycji (zbyt wiele kolan rurowych, przewody nie są prowadzone bezpośrednio),
- dodatkowych kosztów eksploatacji (duże straty ciśnienia, ciepła),
- kłopotów z obsługą i konserwacją.



**Ryc. 15** Skutki wprowadzenia ścieków o temperaturze przekraczającej 100 °C do zbiornika odmulin poniżej linii wody (przez króciec przeznaczony do temperatury < 100 °C)

### 2.1 Prowadzenie przewodów

Bardzo często z różnych przyczyn przewody muszą być wprowadzone z wielokrotną zmianą rzędnych pionowych. W takich sytuacjach należy mieć na uwadze dwie proste zasady:

- odwodnienie przewodów w najniższym miejscu,
- odpowietrzenie przewodów w najwyższym miejscu.

#### 2.1.1 Przewody pary

W procesie ogrzewania się instalacji podczas rozruchu kotła, a także wskutek strat ciepła na rurociągu w trakcie zwykłej pracy instalacji kotłowej w przewodach parowych tworzy się kondensat w większych ilościach. Ten kondensat musi być odprowadzony z przewodów. W przeciwnym razie istnieje niebezpieczeństwo porywania wody przez strumień pary poruszający się z dużą prędkością i w konsekwencji uderzeń hydraulicznych, które mogą prowadzić do powstawania uszkodzeń rur, armatur i elementów mocujących. Przy prowadzeniu przewodów pary należy przestrzegać kilku niżej wymienionych zasad.

### Odwadnianie przewodów

- bezpośrednio przed wszystkimi zaworami regulacyjnymi i reduktorami ciśnienia w celu uniemożliwienia zbierania się w nich kondensatu, gdy są zamknięte,
- przed zaworami ręcznymi i z napędem silnikowym, które pozostają zamknięte przez dłuższy czas,
- we wszystkich najniższych punktach pionowych odcinków rurociągu i przed zmianami wysokości,
- na końcu przewodu.

### Układanie przewodów ze spadkiem

Kondensat tworzący się w przewodzie musi móc spłynąć do najbliższego spustu. Przepływ strumienia czynnika z dużą prędkością przez rurę ułatwia spływ kondensatu. Poprowadzenie rury ze spadkiem zgodnie z kierunkiem przepływu czynnika przyspieszy spływ kondensatu. Spusty powinny być rozmieszczone co 25 – 50 m.

Spadek nie powinien być mniejszy niż 1 – 3 %, w idealnym wypadku spadek lekko wzrasta w miarę zbliżania się do ostatniego spustu, gdyż po drodze przybywa kondensatu.

Krótkie odcinki rur przy odpowiednio większym spadku > 5 % mogą być także odwadniane w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu czynnika.

Ważne jest jedynie, aby kondensat mógł spływać bez przeszkód i w żadnym miejscu rurociągu nie tworzył się tzw. kieszenie wodne.

### Przylącza wlotowe spustów kondensatu

Ze względu na dużą różnicę ciśnień często wystarczą spusty kondensatu z króćcem wlotowym o niewielkiej średnicy znamionowej (DN 15 – 25). Jednakże jeśli średnica znamionowa króćca wlotowego spustu bezpośredniego podłączonego do przewodu parowego będzie zbyt mała, to spływający rurą z dużą prędkością kondensat będzie po części „przelatywał” nad wlotem spustu, który w takiej sytuacji nie będzie spełniał swojej funkcji. Należy więc zawsze dobierać spusty kondensatu z króćcami wlotowymi o dostatecznie dużych rozmiarach, zapewniające skuteczne odwadnianie. Należy też zwrócić uwagę na to, aby w króćcu była dostateczna dodatkowa przestrzeń na gromadzące się zanieczyszczenia, aby zminimalizować ryzyko awarii spustu.

Króciec wlotowy spustu pełni też rolę kolektora kondensatu, zwłaszcza podczas rozruchu instalacji kotłowej gdy wskutek ogrzewania się rur tworzy się duża ilość kondensatu. Spust kondensatu należy podłączyć do króćca ok. 50 – 100 mm nad jego dnem, aby uniemożliwić przedostanie się brudu i osadów bezpośrednio do spustu.

→ Technika – Rozdział 5.2: Przewody pary, strona 221

- Problemy:**
- uderzenia hydrauliczne mogące spowodować powstanie uszkodzeń rur, armatur i elementów mocujących
- Przyczyna:**
- wskutek złego odwodnienia w przewodzie tworzą się „korki wodne” o dużej prędkości
- Środki zaradcze:**
- instalacja spustów kondensatu o właściwych wymiarach i w odpowiedniej pozycji





### 2.1.2 Łączenie przewodów

Łączenie przewodów o takiej samej funkcji jest powszechnym zwyczajem przy wykonywaniu instalacji.

Przykładowo przewody pary od kilku kotłów można połączyć w jeden wspólny przewód zasilający o odpowiednio dużym przekroju. Jest to jednak możliwe tylko w sytuacjach, gdy łączenie przewodów nie wpływa negatywnie na ich funkcje. Ten problem dotyczy w szczególności przewodów wydmuchowych zaworów bezpieczeństwa.

Przewody wydmuchowe zaworów bezpieczeństwa należy prowadzić zawsze oddzielnie i możliwie najkrótszą drogą na zewnątrz. Łączenie przewodów umniejsza zdolności przepustowe zaworów bezpieczeństwa, uniemożliwiając ich prawidłowe działanie. Duże siły reakcji występujące w sytuacji zadziałania zaworu mogą nawet spowodować oderwanie przewodu wydmuchowego.

**Problemy:**

- możliwość wzrostu ciśnienia w kotle ponad dopuszczalną wartość
- zawory bezpieczeństwa przestają spełniać swoją funkcję
- naruszenie przepisów
- niebezpieczeństwo uszkodzenia przewodów

**Przyczyna:**

- zbyt duże opory przepływu przez przewody
- wsteczna reakcja na zawór bezpieczeństwa (trzeptanie zaworu)

**Środki zaradcze:**

- prowadzenie przewodów wydmuchowych zaworów bezpieczeństwa zawsze oddzielnie



**Ryc. 16** Niedopuszczalne łączenie przewodów wydmuchowych zaworów bezpieczeństwa i przewodów pary wtórnej

### 2.1.3 Zwężanie przewodów, nadmierne wydłużanie przewodów

#### Przewody odpowietrzające

Gdy przewody odpowietrzające, jak na przykład ten przy rozprężaczu odmulin, nie mają zgodnie z wymaganiami jednakowego przekroju na całej długości, zachodzi niebezpieczeństwo niedopuszczalnego spiętrzenia ciśnienia. Przyczyną jest niedopuszczalny wzrost ciśnienia przepływu w „wąskim gardle”, czego skutkiem może być zniszczenie zbiornika, którego konstrukcja jest przewidziana do pracy bezciśnieniowej ( $\leq 0,5$  bar).



Ryc. 17 Zwężenie przewodu pary wtórnej może prowadzić do wzrostu ciśnienia w zbiorniku i w konsekwencji do jego rozerwania

#### Przewód odprowadzenia oparów

Zwężenie przewodu odprowadzenia oparów może tak dalece hamować odprowadzanie tlenu i dwutlenku węgla z odgazowywacza, że uniemożliwi to całkowite odgazowanie. Skutkiem tego może być korozja w kotle i przewodach rurowych. Jeśli do tego jakość wody nie jest regularnie sprawdzana zgodnie z wymaganiami, to konieczna może okazać się wymiana dużych części instalacji kotłowej.

- Problemy:**
- niedopuszczalny wzrost ciśnienia
  - ograniczenie funkcjonalności odgazowywacza
- Przyczyna:**
- zwężenie przewodu i wskutek tego za duże opory przepływu w przewodzie
- Środki zaradcze:**
- średnice znamionowe i materiały przewodów mają być zgodne z wymaganiami, prowadzenie przewodów możliwie najkrótszą drogą na zewnątrz



**Ryc. 18** Zwężenie (1) przewodu pary wtórnej przy rozprężaczu odmulin. Łączenie (2) przewodu pary wtórnej, przewodu wydmuchowego zaworu bezpieczeństwa i przewodu oparów. Przewodu oparów niewykonany ze stali nierdzewnej (3).

### 2.1.4 Bezpieczne odprowadzenie wydmuchów

Wszystkie przewody, ale w szczególności przewody wydmuchowe zaworów bezpieczeństwa, które odprowadzają parę do powietrza atmosferycznego, muszą być w taki sposób wyprowadzone na zewnątrz, aby nie stwarzać żadnego zagrożenia dla ludzi, urządzeń czy budynku. Odprowadzana para ma najczęściej dużą prędkość i wysoką temperaturę, przewód wydmuchowy nie może więc przecinać ścieżek komunikacyjnych ani być skierowany w stronę części instalacji wrażliwych na wysoką temperaturę.

- Szkody:**
- świetlik budynku zniszczony przez strumień gorącej pary odprowadzonej przez przewód wydmuchowy zaworu bezpieczeństwa (zdjęcie po lewej stronie)
  - zagrożenie dla pracowników zakładu i uszkodzenie komponentów elektronicznych (zdjęcie po prawej stronie)
- Przyczyna:**
- brak rozpoznania potencjalnego zagrożenia
  - wylot przewodu wydmuchowego skierowany bezpośrednio na świetlik lub znajdujący się wewnątrz kotłowni
- Środki zaradcze:**
- wyprowadzenie przewodów wydmuchowych na zewnątrz w bezpieczny sposób



Ryc. 19 Przewody wydmuchowe zaworu bezpieczeństwa

### 2.1.5 Źle zainstalowane armatury

Armatury zainstalowane odwrotnie do kierunku przepływu czynnika zdarzają się często. Zazwyczaj widać to natychmiast po ich nieprawidłowym działaniu. Ale w przypadku niektórych armatur, np. klap zwrotnych, nie widać tego od razu. W omawianym przypadku kłapa zwrotna została nieprawidłowo zainstalowana w obejściu modułu regulacji wody zasilającej, wskutek czego minimalna ilość wody wymagana dla pompy przestała napływać do zbiornika wody zasilającej. Ta sytuacja doprowadziła do tego, że najpierw pierwsza pompa wody zasilającej uległa uszkodzeniu wskutek kawitacji. Nie doszukując się głębiej przyczyn tego stanu wymieniono pompę na nową w ramach gwarancji. Ponieważ jednak nie naprawiono błędu będącego źródłem problemu, uszkodzeniu wskutek kawitacji uległy także druga i trzecia pompa. Dopiero wtedy poszukano przyczyny awarii, a następnie ją usunięto.

- Szkody:**
- trzy uszkodzone pompy zasilające wskutek kawitacji
- Przyczyna:**
- brak minimalnego ciśnienia napływu, ponieważ kłapa zwrotna została zamontowana w odwrotnym kierunku na obejściu
- Środki zaradcze:**
- użycie zamontowanych modułów
  - sprawdzenie wszystkich warunków eksploatacyjnych instalacji podczas uruchomienia
  - znalezienie przyczyny uszkodzeń



## 2.2 Zamocowania rur

Niestety ciągle spotyka się poważne braki jeśli chodzi o zamocowania rur. Oto niektóre z zaobserwowanych przykładów:

- uchwyty są za słabe
- odległości między uchwytami są zbyt duże
- projektując mocowanie rur nie uwzględniono rozszerzania cieplnego rur podczas pracy instalacji
- ściany lub sufit mają za słabą konstrukcję do wytrzymania sił wywieranych przez rury

Ani zawór bezpieczeństwa, ani blaszany dach nie są w stanie pochłaniać sił, jakie zostałyby uwolnione w razie zadziałania zaworu bezpieczeństwa. To, że przewody wydmuchowe zaworów bezpieczeństwa podpierają się wzajemnie, wcale tu nie pomaga. Na szczęście ten błąd zauważono jeszcze przed pierwszym testem. Inaczej groziłoby zniszczenie przewodów.

**Problem:** • możliwe poważne uszkodzenia obiektu i zagrożenie dla pracowników zakładu

**Przyczyna:** • brak zamocowania rur

**Środki zaradcze:** • zaprojektowanie odpowiednich zamocowań przeciwdziałających wszystkim występującym siłom



Ryc. 20 Brak zamocowań przewodów wydmuchowych zaworów bezpieczeństwa

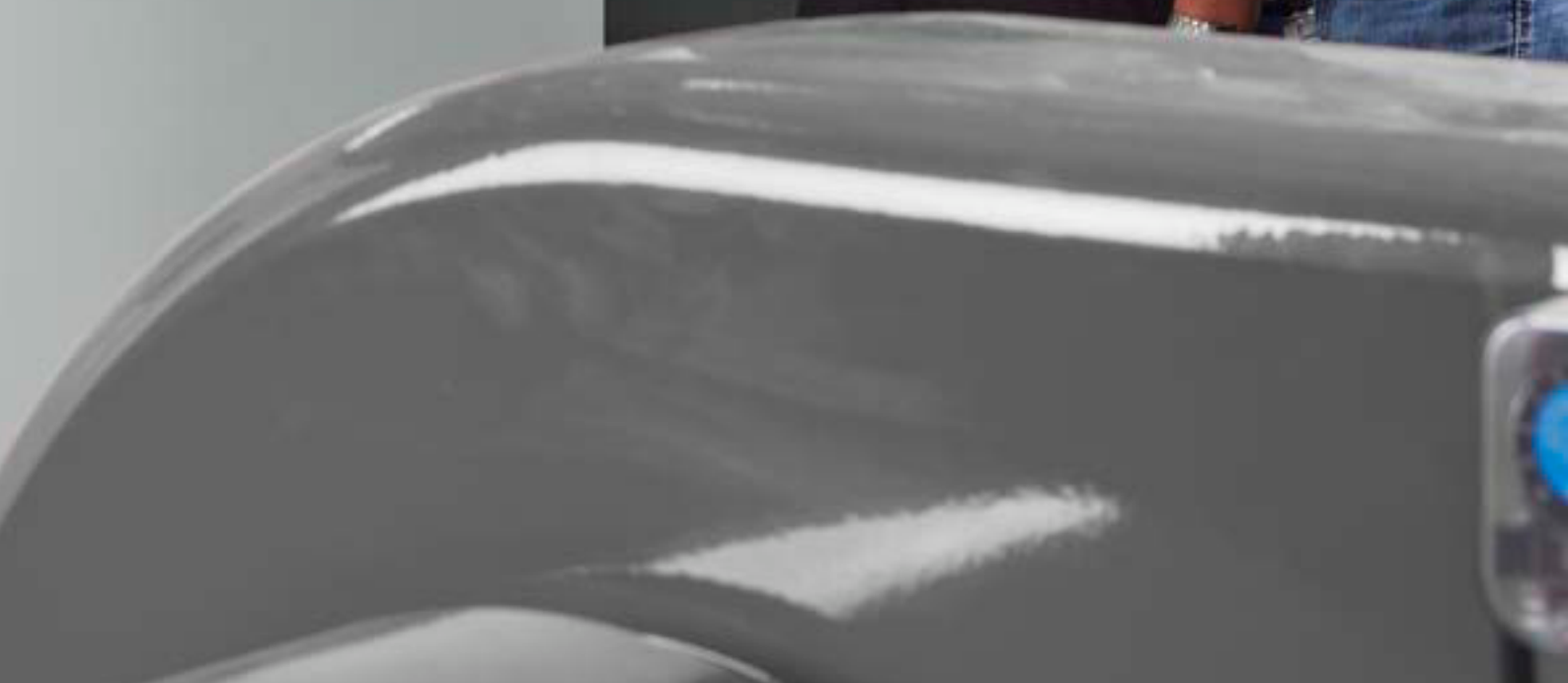


Ryc. 21 Rozszerzenie cieplne przewodów wydmuchowych zaworów bezpieczeństwa jest uniemożliwione





MEC-Schrank  
übergeordnetes  
Leitsystem





### 3 Podczas eksploatacji

Przy odpowiedniej dbałości kocioł może być użytkowany nawet przez ponad 50 lat. W praktyce jednak na instalację kotłową oddziałuje wiele rozmaitych czynników mogących znacznie skrócić ten okres. W tym rozdziale chcemy uczulić przede wszystkim użytkowników na tę kwestię posługując się kilkoma przykładami. Nie jesteśmy oczywiście w stanie w pełni wyczerpać tematu możliwych przyczyn uszkodzeń. Jednakże wiadomo, że każde zdarzające się uszkodzenie zawsze ma swoją przyczynę. Oprócz fachowego naprawienia uszkodzenia i przywrócenia działania instalacji należy te przyczyny znaleźć i wyeliminować ryzyko ponownego ich wystąpienia w przyszłości.

→ Informacja Techniczna TI038: Uszkodzenia kotłów – Analiza uszkodzeń i diagnostyka przyczyn

Żywotność komponentów elektronicznych i elektrycznych jest z reguły znacznie mniejsza niż żywotność samego kotła. W szczególności komponenty, które mają znaczenie dla bezpieczeństwa użytkownika kotła, muszą być wymieniane przed upływem przydatności do użytku. Elektroniczny asystent efektywności MEC Optimize oferuje funkcje wspierające użytkownika w realizacji tego zadania oraz ogólnie w zakresie profilaktycznej konserwacji.



→ Produkty – Rozdział 6.4: MEC Optimize, strona 373

Potencjalne usterki często mogą być zidentyfikowane z wyprzedzeniem a ich przyczyny wyeliminowane. Warunkiem jest tu jednak otwarta komunikacja pomiędzy użytkownikiem, wykonawcą instalacji i serwisantem kotła.



Ryc. 22 Wpływ sposobu eksploatacji kotła na jego żywotność



## 3.1 Monitorowanie jakości wody

### 3.1.1 Twardość wody/kamień kotłowy

W świeżej wodzie są zawarte oprócz innych szkodliwych składników także ziemie alkaliczne, często rozumiane jako twardość wody. Znamy je z naszego codziennego życia jako kamień odkładający się w czajnikach czy ekspresach do kawy. Już 1-milimetrowa warstwa kamienia powoduje znaczne pogorszenie się przenoszenia ciepła od strony wody. Może stać się także przyczyną rozległych zniszczeń przede wszystkim podzespołów narażonych na działanie bardzo wysokiej temperatury, jak płomienica czy ściana sitowa wewnętrznej komory nawrotnej.

W prezentowanym przypadku dodatkowy odbiornik zakładowy powodował nieustannie przeciążenie zainstalowanego zmiękczacza wody. Brakowało przy tym kontroli twardości, przez co przeciążenie pozostało niezauważone.

Twardość przedostała się też do kotła, w którym utworzyły się osady od strony wody. Osady były powodem pogorszenia się przenoszenia ciepła z lokalnym przegrzaniem i w konsekwencji pęknięć ściany sitowej.

#### Czy wiedzieli Państwo, że...

... przy twardości wody 10° dH (średni zakres twardości) na każdy m<sup>3</sup> wody przypada do 70 g osadów kamienia?

Wynika z tego, że w kotle wytwarzającym 10 t pary na godzinę w trybie ciągłej pracy przez 10 dni odłoży się blisko 500 kg kamienia kotłowego.



- Szkody:**
- pęknięcia na ścianie sitowej płomieniówek wskutek przegrzania w tym obszarze
- Przyczyna:**
- twardość wody i osady kamienia w przestrzeni wodnej
- Środki zaradcze:**
- prowadzenie książki ruchu kotła z regularnym notowaniem jakości wody i sprawdzanie, czy woda spełnia warunki określone w wymaganiach dla jakości wody
  - monitoring twardości resztkowej

→ Technika – Rozdział 4.5: Monitoring parametrów wody, strona 205

→ Informacja Techniczna TI012: Wymagania dla pracy kotła wysokociśnieniowego bez stałego nadzoru



**Ryc.23** Osady kamienia kotłowego od strony wody w obszarze płomieniówek i na ścianie sitowej kotła



Ryc. 24 Pęknięcia w ścianie sitowej komory nawrotnej od strony spalin

### 3.1.2 Zanieczyszczenia w kondensacie

Jak najbardziej słuszne z energetycznego i ekonomicznego punktu widzenia jest wykorzystanie potencjału zawartego w kondensacie powstającym podczas eksploatacji instalacji parowo-wodnej. W procesach produkcji do kondensatu mogą zostać wprowadzone zanieczyszczenia. W prezentowanym przykładzie kondensat został zanieczyszczony tłuszczem pochodzącym z produkcji przez nieszczelny wymiennik ciepła. W kotle tłuszcz osadził się na powierzchniach ogrzewalnych, a także na urządzeniu do zabezpieczenia przed brakiem wody, co było przyczyną przegrzewania się powierzchni ogrzewalnych.

**Szkody:**

- kompletne uszkodzenie walczaka wskutek przegrzania
- wgniecenia w płomienicy i płomieniówkach

**Przyczyna:**

- brak kontroli kondensatu pod kątem obecności zanieczyszczeń

**Środki zaradcze:**

- sprawdzanie, czy kondensat może zawierać zanieczyszczenia
- stosowanie monitoringu kondensatu

→ Technika – Rozdział 4.5: Monitoring parametrów wody, strona 205

→ Informacja Techniczna TI012: Wymagania dla pracy kotła wysokociśnieniowego bez stałego nadzoru



Ryc. 25 Warstwa tłuszczu i zanieczyszczenia w kotle skutkujące odkształceniami płomienicy i wewnętrznej komory nawrotnej w wyniku przegrzania

### 3.1.3 Dozowanie środków chemicznych do przygotowania wody

Dozowanie preparatów chemicznych ma spełniać głównie dwa zadania. Po pierwsze związać zawarte w wodzie tlen reszkowy i twardość reszkową, po drugie utrzymać pH w wodzie zasilającej i w kotle w dopuszczalnych granicach. Często pompy dozujące chemię i pompy wody zasilającej lub system wody uzupełniającej pracują równocześnie, dzięki czemu jest możliwe dozowanie quasi ilościowo-proporcjonalne. Dawka dozowanego preparatu jest każdorazowo dopasowywana do zmierzonych parametrów wody kotłowej, co pozwala na utrzymanie stężenia we wskazanym zakresie. Wskazane jest ustawienie dawki w zakresie 30 – 100 % wydajności pompy dozującej. Jeśli to nie wystarczy, należy zmienić stężenie dozowanego preparatu.

Zarówno zbyt duża jak i zbyt mała dawka dozowanej chemii może zaburzać sprawną pracę kotła, a nawet spowodować jego poważne uszkodzenie.

Na ogół jednak przyczyn częstych, nawracających problemów z jakością wody nie należy upatrywać wyłącznie w dozowaniu, ale raczej w przygotowaniu i kontroli wody jeszcze przed dozowaniem, kiedy dozowanie nie jest już w stanie wyrównać normalnych wahań jakości wody.

- |                         |                                          |
|-------------------------|------------------------------------------|
| <b>Problem:</b>         | • dotrzymanie wymaganych parametrów wody |
| <b>Przyczyna:</b>       | • ustawienia dozowania                   |
|                         | • problemy na etapie przygotowania wody  |
| <b>Środki zaradcze:</b> | • sprawdzenie ustawień dozowania         |
|                         | • monitoring przygotowania wody          |
|                         | • monitoring kondensatu                  |
|                         | • automatyczny analizator wody           |



## 3.2 Kawitacja w pompach

Kawitacja jest zjawiskiem polegającym na powstawaniu i nagłym zanikaniu pęcherzyków gazowych w cieczy. Zjawisko to polega na gwałtownej przemianie fazy ciekłej w gazową pod wpływem zmniejszenia ciśnienia. Jeżeli ciecz gwałtownie przyspiesza, jak np. czynnik na wlocie wirnika pompy, to zgodnie z zasadami fizyki ciśnienie cieczy musi zmaleć. Po wyjściu ze strefy szybkiego przepływu ciśnienie ponownie rośnie. Pęcherzyki zapadają się przez implozję, co wytwarza mikroskopijne uderzenia hydrauliczne. Zjawisko kawitacji może spowodować poważne uszkodzenia aż po kompletne zniszczenie wewnętrznych mechanizmów pompy.

Występowanie kawitacji w pompach może mieć wiele przyczyn. Za niska wysokość ustawienia, wahania ciśnienia od strony ssania czy zmienna temperatura czynnika. Często, podobnie jak w prezentowanym przykładzie, pompa zasilająca nie została prawidłowo zdławiona. W momencie rozpoczęcia pracy w kotle nie występuje jeszcze żadne albo występuje bardzo małe przeciwciśnienie. Pompa tłoczy więc znacznie większe ilości wody. Woda gwałtownie przyspiesza na wlocie wirnika pompy, czemu towarzyszy duże zmniejszenie ciśnienia statycznego. Gdy woda zasilająca jest już gorąca, może wystąpić zjawisko kawitacji. W tym wypadku pompa już po kilku minutach była zniszczona w stopniu nienadającym się do naprawy.

### Każdy może usłyszeć kawitację:

Zaczynając się kawitację słychać jak odgłos deszczu na blaszanym dachu, pełną kawitację jak odgłos gradu na blaszanym dachu.



- Problem:**
- kawitacja w pompach
- Przyczyna:**
- pompy nie zostały prawidłowo zdławione
- Środki zaradcze:**
- zdławienie pomp zgodnie z instrukcją obsługi
  - przestrzeganie wymaganych warunków ustawienia



Ryc. 26 Uszkodzenia pomp przez kawitację

- 1** Wgniecenie na wirniku pompy
- 2** Oderwane łopatki wirnika pompy
- 3** Uszkodzenie/zniszczenie dalszych podzespołów pompy przez oderwane łopatki wirnika

### 3.3 Regulacja paleniska

Regulacja paleniska jest obok przygotowania wody czynnikiem decydującym o niskich kosztach eksploatacji i długiej żywotności kotła. Ustawienia regulacji należy regularnie sprawdzać podczas cyklicznych konserwacji. Należy zwrócić uwagę nie tylko na to, czy palenisko prawidłowo funkcjonuje, ale także na to, czy rzeczywiste jego działanie nadal zgadza się z projektowanym.

#### 3.3.1 Częste włączenia i wyłączenia palnika

Częste włączenia i wyłączenia palnika są nagminnie występującym problemem. Przyczyny tego mogą być wielorakie, np. przewymiarowanie kotła, wzrost zapotrzebowania na ciepło, zmiana warunków eksploatacyjnych czy choćby za mały zakres regulacji.

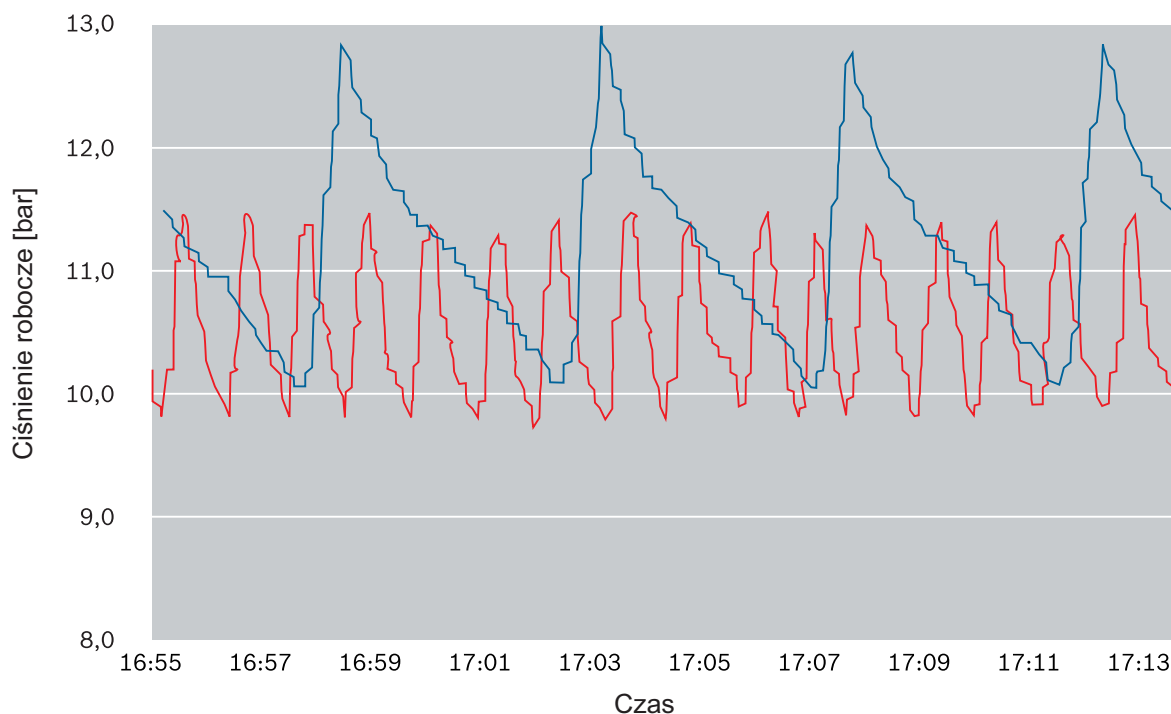
Ogólnie obowiązującą zasadą jest unikanie tak dalece jak to możliwe częstych włączeń i wyłączeń palników. Gdy komora spalania jest przewietrzana przed zapłonem palnika, przez kocioł przepływa strumień zimnego powietrza. To powoduje dodatkowe naprężenia termiczne, które w ostateczności doprowadzą do skrócenia żywotności kotła oraz niepotrzebne straty ciepła. Często skorygowanie ustawień regulacji obciążenia wystarczy by częstotliwość włączeń i wyłączeń palnika zdecydowanie zmalała.

Jeżeli w kotle zainstalowano palnik o wiele za duży dla wymaganego zapotrzebowania na parę, to konieczna będzie wymiana palnika.

→ Efektywność – Rozdział 2.2.3: Dopasowanie mocy, strona 274

→ Efektywność – Rozdział 4.4.1: Konserwacja, strona 301

→ Raport Branżowy FB027: Możliwe do uniknięcia obciążenia kotłów płomienicowo-płomieniówkowych



**Ryc. 27** Zmniejszenie częstotliwości włączeń i wyłączeń palnika dzięki optymalizacji ustawień

— Częstotliwość włączeń i wyłączeń palnika co kilka minut

— Częstotliwość włączeń i wyłączeń palnika po korekcie ustawień zakresu regulacji

**Problem:**

- ekstremalnie częste włączenia i wyłączenia palnika i przez to naprężenia termiczne skutkujące szybszym zużyciem podzespołów i stratami ciepła przez przewietrzanie komory spalania

**Przyczyna:**

- ustawienia regulacji obciążenia
- za mały zakres regulacji palnika

**Środki zaradcze:**

- ustawienie większego zakresu regulacji ciśnienia
- zainstalowanie sterowania małym obciążeniem
- dobór palników o szerokim zakresie regulacji lub dostosowanie mocy palnika do rzeczywistych wymagań użytkownika

### 3.3.2 Przeciążenie kotła

Kotły płomienicowo-płomieniówkowe są ze względu na swoją konstrukcję stosunkowo niewrażliwe na wahania odbiorów pary. Zwykle ewentualny krótkotrwały spadek ciśnienia w kotle wskutek zwiększonego poboru pary do 20 % wydajności obliczeniowej kotła nie stanowi żadnego problemu. Jednakże obciążenia przekraczające tę wielkość są przyczyną poważnych problemów w instalacji i w kotle. W kotle może dojść do silnych wahań poziomu wody. W instalacji porywanie wody kotłowej przez parę powoduje nadmierny wzrost wilgotności pary, co skutkuje uderzeniami wodnymi.

**Problem:**

- porywanie wody kotłowej przez parę powoduje nadmierny wzrost wilgotności pary, co skutkuje uderzeniami hydraulicznymi w instalacji

**Przyczyna:**

- przeciążenie kotła

**Środki zaradcze:**

- zainstalowanie ograniczenia wydajności w postaci zaworu silnikowego na wylocie pary z kotła

### 3.4 Zanieczyszczenia i osady w rurach

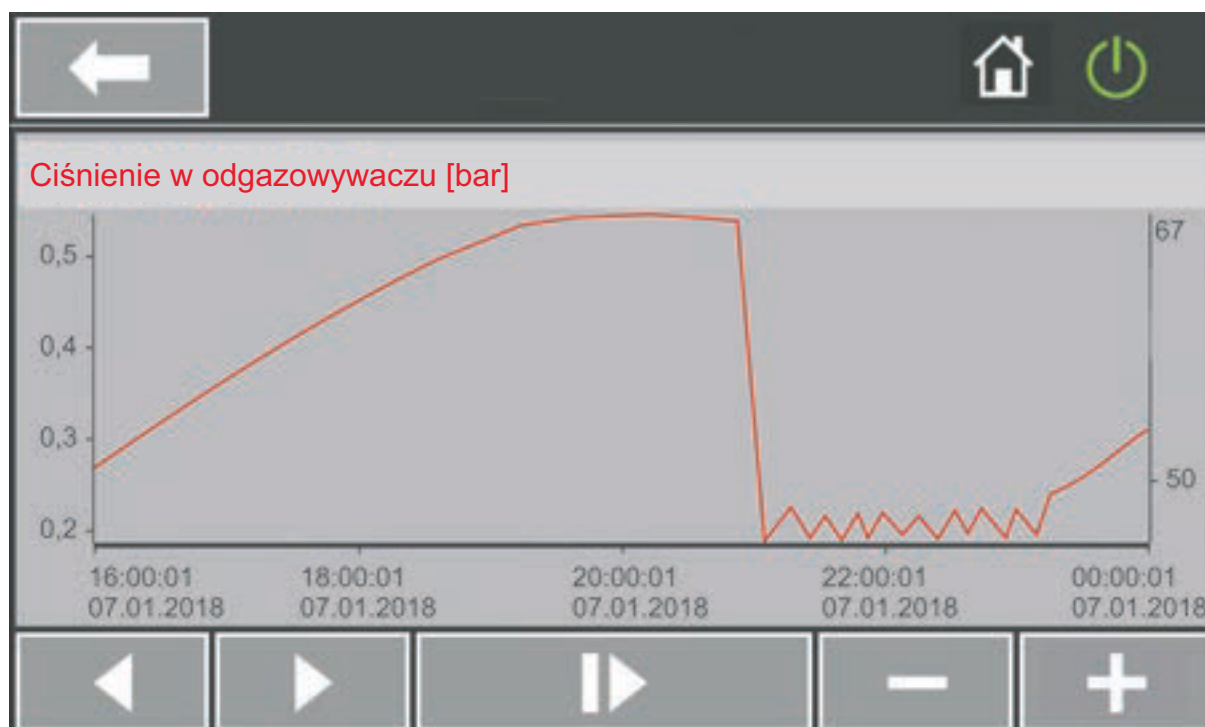
Bezustannie mamy do czynienia z awariami i uszkodzeniami, których przyczyną są zanieczyszczenia i osady powstające w rurach i armaturach. Pierwsze zaobserwować można już podczas uruchomienia na skutek nieprzepłukania rur, ostatnie dopiero z czasem w trakcie eksploatacji, gdy przyczyną jest ciągła kontaminacja instalacji. O ile jeszcze fakt powolnego nawarstwiania osadów zostaje zauważony, to brakuje zupełnie świadomości skutków jakie może za sobą pociągnąć.

#### 3.4.1 Uszkodzenie spustów kondensatu

Odwadniacze są obecne w każdej instalacji parowej. W zależności od rozmiarów sieci parowej może być ich nawet ponad 100 sztuk. Jeśli choć jeden z nich jest nieszczelny, para może popłynąć bezużytecznie wprost do systemu kondensatu zamiast do sieci, a wskutek przecieku wzrosną koszty eksploatacji. Może też zdarzyć się, jak w przedstawionym przykładzie, że ucierpią też kolejne podzespoły.

Uszkodzony odwadniacz w odwodnieniu przewodu pary spowodował, że wskutek przecieku pary do systemu kondensatu zbiornik wody zasilającej był ciągle ogrzewany. Ciśnienie w zbiorniku nadmiernie wzrastało, ustawicznie wywołując zadziałanie zaworu bezpieczeństwa, przez co zawór sam uległ w końcu uszkodzeniu.

- Problem:** • uszkodzony zawór bezpieczeństwa i wzrost kosztów eksploatacji
- Przyczyna:** • uszkodzony odwadniacz
- Środki zaradcze:** • regularne inspekcje odwadniaczy



**Ryc. 28** Ciągły wzrost ciśnienia w zbiorniku wody zasilającej wywołany przez uszkodzony odwadniacz





**Przykładowe obliczenia:**

$$\text{Straty pary [D]} = A \cdot K$$

A	Liczba uszkodzonych odwadniaczy	10
B	Roczny czas pracy	8 000 h/a
D	Straty pary	
E	Koszty wytworzenia jednostkowej tony pary	30 Euro/t
K	Strata na każdym odwadniaczu	2 kg/h

$$\text{Wynikowe koszty [PLN/a]} = \frac{B \cdot D \cdot E}{1\,000}$$

**Wzór 16** Obliczenie kosztów wynikających z uszkodzenia odwadniaczy

Liczba uszkodzonych spustów kondensatu	<input type="text" value="10"/>		
Strata na każdym spuście kondensatu [kg/h]	<input type="text" value="2"/>	Straty pary [kg/h]	<input type="text" value="20"/>
Roczny czas pracy (h/a)	<input type="text" value="8000"/>		
Koszty wytworzenia pary (PLN/1000 kg)	<input type="text" value="30"/>	Spowodowane koszty (PLN/a)	<input type="text" value="4 800"/>

**Przykl. 7** Obliczenie kosztów spowodowanych przez uszkodzony spust kondensatu

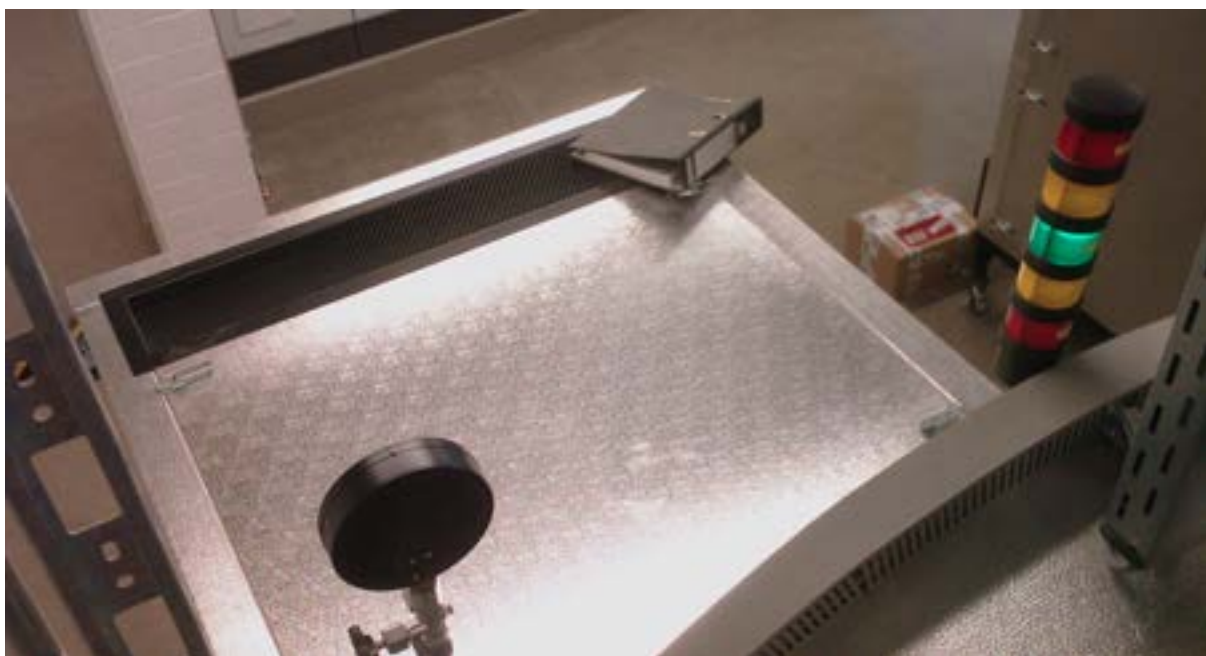
**3.4.2 Zanieczyszczenia w ekonomizerze**

Sadza powstająca w procesie spalania, a także zła jakość paliwa mogą być przyczyną osadzania się zanieczyszczeń w układzie spalinowym. Często najbardziej dotknięty tym zjawiskiem jest zimny koniec układu spalinowego, a więc np. ekonomizer. Ożebrowanie ekonomizera zostają zatkane osadami. Wskutek tego z jednej strony spaliny nie są już tak dobrze schładzane i spada sprawność instalacji kotłowej, z drugiej zaś strony wzrasta przeciwnie spaliny, co z kolei może prowadzić do braku powietrza do spalania, a nawet niebezpieczeństwo gwałtownego zapłonu.

- Problem:**
- zanieczyszczenia w ekonomizerze
- Przyczyna:**
- niewłaściwie ustawienia parametrów spalania
- Środki zaradcze:**
- regularne konserwacje i sprawdzanie ustawień parametrów spalania
  - czyszczenie układu spalinowego
  - prawidłowe zaprojektowanie



Ryc. 29 Osady na ożebrowaniu ekonomizera



Ryc. 30 Niebezpieczeństwo braku powietrza wskutek zatkania otworów nawiewnych

### 3.4.3 Zanieczyszczenie filtra gazu

Podczas montażu zawsze dochodzi do zanieczyszczenia rur. Można je ograniczyć do minimum zachowując najwyższe standardy wykonania. Resztki należy usunąć przepłukując przewody rurowe. W opisywanym przypadku zanieczyszczenie przewodu gazowego było tak znaczne, że już podczas uruchomienia spowodowało duży spadek ciśnienia na filtrze gazu i problemy z uruchomieniem palnika.

- |                         |                                                                                                        |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Problem:</b>         | • zanieczyszczenie filtra gazu podczas uruchomienia                                                    |
| <b>Przyczyna:</b>       | • zła jakość spawania przewodu gazowego<br>• przewód gazowy nie został przepłukany przed uruchomieniem |
| <b>Środki zaradcze:</b> | • przepłukanie przewodów rurowych przed uruchomieniem                                                  |



Ryc. 31 Odpryski pospawalnicze i nalot z rdzy w filtrze gazu

#### 3.4.4 Osady (kamień) w module rozprężania i schładzania odsolin i odmulin (BEM)

W module są gromadzone wszystkie gorące ścieki z instalacji parowej i schładzane do dopuszczalnej temperatury wymaganej dla wprowadzenia ich do kanalizacji. Jeżeli ustawiono za niską temperaturę schłodzenia ścieków, to do modułu będzie ciągle doprowadzana woda świeża do chłodzenia, a to oznacza wzrost kosztów eksploatacji. W prezentowanym przypadku woda świeża używana do chłodzenia miała dodatkowo skrajnie wysoką twardość na poziomie 20° dH. To spowodowało osadzenie się tak grubej warstwy kamienia w module, że przelew został kompletnie zatkany.

**Szkody:**

- kompletnie zakamieniony moduł rozprężania i schładzania odsolin i odmulin
- konieczna wymiana

**Przyczyna:**

- źle ustawiona regulacja temperatury i za twarda woda do chłodzenia

**Środki zaradcze:**

- pilnowanie, aby twardość wody do chłodzenia nie przekroczyła 10° dH (w razie potrzeby używanie wody częściowo zmiękczonej)



Ryc. 32 Zdemontowane przyłącze przelewu modułu rozprężania i schładzania odsolin i odmulin, moduł kompletnie zarośnięty kamieniem od wewnątrz

### 3.5 Ignorowanie wyposażenia bezpieczeństwa

Urządzenia służące zapewnieniu bezpieczeństwa są obligatoryjne z bardzo uzasadnionych względów. Ich celem jest zapobieganie katastrofalnym konsekwencjom dla ludzi, urządzeń i środowiska w przypadku wystąpienia awarii w trakcie rutynowego działania instalacji. Urządzenia bezpieczeństwa są, o ile to możliwe, również testowane w fabryce. Jednakże ostateczne okablowanie, montaż i testy funkcjonalne następują dopiero podczas uruchomienia kotłowni. Bardzo często uruchomienia przeprowadzane są pod dużą presją czasu co nie może jednak usprawiedliwiać pomijania urządzeń bezpieczeństwa lub bocznikowania ich, tak jak w opisanym przykładzie.

- Szkody:**
- kompletne uszkodzenie walczaka wskutek przegrzania
  - wgniecenia w płomienicy i płomieniówkach
- Przyczyna:**
- zbocznikowanie zabezpieczenia przed brakiem wody
- Środki zaradcze:**
- uruchomienie kotła wyłącznie przez wykwalifikowanych fachowców
  - nigdy nie wolno wyłączać urządzeń bezpieczeństwa ani uniemożliwiać ich skutecznego działania



**Ryc. 33** *Odkształcenia wskutek przegrzania spowodowanego brakiem wody*



### 3.6 Praca w niebezpiecznych warunkach

Sposób zainstalowania wszystkich urządzeń, armatur, przyrządów pomiarowych z punktu widzenia ich obsługi powinien być możliwie najprostszy. Nierzadko trzeba jednak znaleźć kompromis między jak najłatwiejszą obsługą i konserwacją a dostępną ilością miejsca. Zwykle ludzki zdrowy rozsądek wystarczy, by rozpoznać potencjalne zagrożenia. Ale także analiza ryzyka wymagana dla etapu eksploatacji dostarcza wskazówek n/t bezpiecznego użytkowania. Zwłaszcza przed odbiorem użytkownik może jeszcze wpłynąć na wykonawcę instalacji, aby możliwa była także sprawna obsługa instalacji.

- Szkody:**
- pobór próbek wody w niebezpiecznej pozycji bez chłodniczki i nad elektryczną szafą rozdzielczą
- Przyczyna:**
- brak zrozumienia sposobu użytkowania instalacji parowej
- Środki zaradcze:**
- poprowadzenie przewodu probierczego do dołu
  - zainstalowanie chłodniczki próbek wody



Ryc. 34 Pobór próbek wody bez chłodniczki i z użyciem nieodpowiedniego naczynia

# Technika

<b>1</b>	<b>Para</b>	<b>105</b>
1.1	Rodzaje pary	105
1.2	Ciśnienie i temperatura	111
1.3	Entalpia	112
1.4	Zalety i wady systemów parowych	114
<b>2</b>	<b>Kocioł</b>	<b>117</b>
2.1	Typy konstrukcyjne	118
2.2	Wyposażenie i regulacja	123
<b>3</b>	<b>Komponenty</b>	<b>135</b>
3.1	Spalanie i ogrzewanie	135
3.2	System utrzymania kotła w gorącej rezerwie	147
3.3	Ekonomizer	150
3.4	Ekonomizer kondensacyjny	154
3.5	Podgrzewacz powietrza	156
3.6	Chłodnica wody zasilającej	157
3.7	Podgrzewacz wody zasilającej	158
3.8	Przegrzewacz	159
3.9	Pompa wody zasilającej	162
3.10	Sterowanie kotłem	169
3.11	Sterowanie kotłem BCO	171
3.12	Kompaktowe sterowanie kotłem parowym CSC	174
<b>4</b>	<b>Kotłownia</b>	<b>177</b>
4.1	Przygotowanie wody	179
4.2	Zrzut ścieków	193
4.3	Uzdatnianie, kolektorowanie i akumulacja pary	194
4.4	Gospodarka kondensatem	201
4.5	Monitoring parametrów wody	205
4.6	System zarządzania instalacją SCO	208



<b>5</b>	<b>Peryferia</b>	<b>213</b>
5.1	Rurociągi	213
5.2	Rurociągi pary	221
5.3	Rurociągi wody	222
5.4	Przewody kondensatu	224
5.5	Przewody wydmuchowe zaworów bezpieczeństwa	226
5.6	System odprowadzania spalin	228
<b>6</b>	<b>Wytwarzanie kotłów</b>	<b>235</b>
6.1	Optymalna konstrukcja kotła	235
6.2	Prawidłowe spawanie płomienicy i płomieniówek	236
6.3	Precyzja wykonania dzięki optymalnej pozycji spawania	237
6.4	Stosowanie robotów spawających	238
6.5	Mniejsza liczba spoin zapewniająca wyższą jakość	239













# 1 Para

Podgrzewanie produktów jest elementem niezbędnym dla wielu procesów przemysłowych i zastosowań. Bardzo często wymagana jest do tego wysoka temperatura między 100 °C i 250 °C. Para nasycona, czy para nieznacznie przegrzana, jest optymalnym nośnikiem ciepła charakteryzującym się wieloma zaletami:

- wysoką gęstością energii,
- znakomitą transferem ciepłym przy kondensacji,
- zastosowanie przy ogrzewaniu bezpośredniego i pośrednim,
- dobrymi właściwościami regulacyjnymi,
- woda/para jest nietrująca i powszechnie dostępna,
- pompy nie są wymagane dla transportu pary.

## 1.1 Rodzaje pary

Rozróżnia się następujące rodzaje pary:

Rodzaj pary	Cechy szczególne	Zastosowanie	Resztkowa wilgotność
<b>Para mokra</b>	Może powodować erozję w przewodach pary	–	> 3 %
<b>Para nasycona/ wysokociśnieniowa</b>	Najczęściej używany rodzaj pary	Ciepło technologiczne < ~230 °C	0 ... 3 %
<b>Para przegrzana</b>	Mniejsze straty ciepła w przewodach pary	Turbiny parowe	0 % (temperatura pary > temperatura nasycenia)
<b>Para niskociśnieniowa</b>	Nie podlega dyrektywie ciśnieniowej, stąd mniej wymagań dotyczących montażu/eksploatacji źródeł pary niskociśnieniowej	Ciepło technologiczne < 110 °C, pralnie	0 ... 3 %
<b>Para kulinarna</b>	Używanie nietłotnych środków chemicznych	Przemysł spożywczy	0 ... 3 %
<b>Para czysta</b>	Wytwarzana przez specjalne wytwornice pary czystej wykonane ze stali nierdzewnej w oparciu o parę nasyconą	Przemysł farmaceutyczny, szpitale	0 ... 3 %
<b>Para z rozprężenia</b>	Powstaje przy zmniejszeniu ciśnienia poniżej temperatury wrzenia gorącej wody	Akumulatory pary (celowo) / po rozprężeniu odmulin i odsolin (przymusowo)	0 ... 3 % (w akumulatorze pary) 70 ... 99,9 % (w przewodach rurowych)

Tab. 8 Różnice między poszczególnymi rodzajami pary

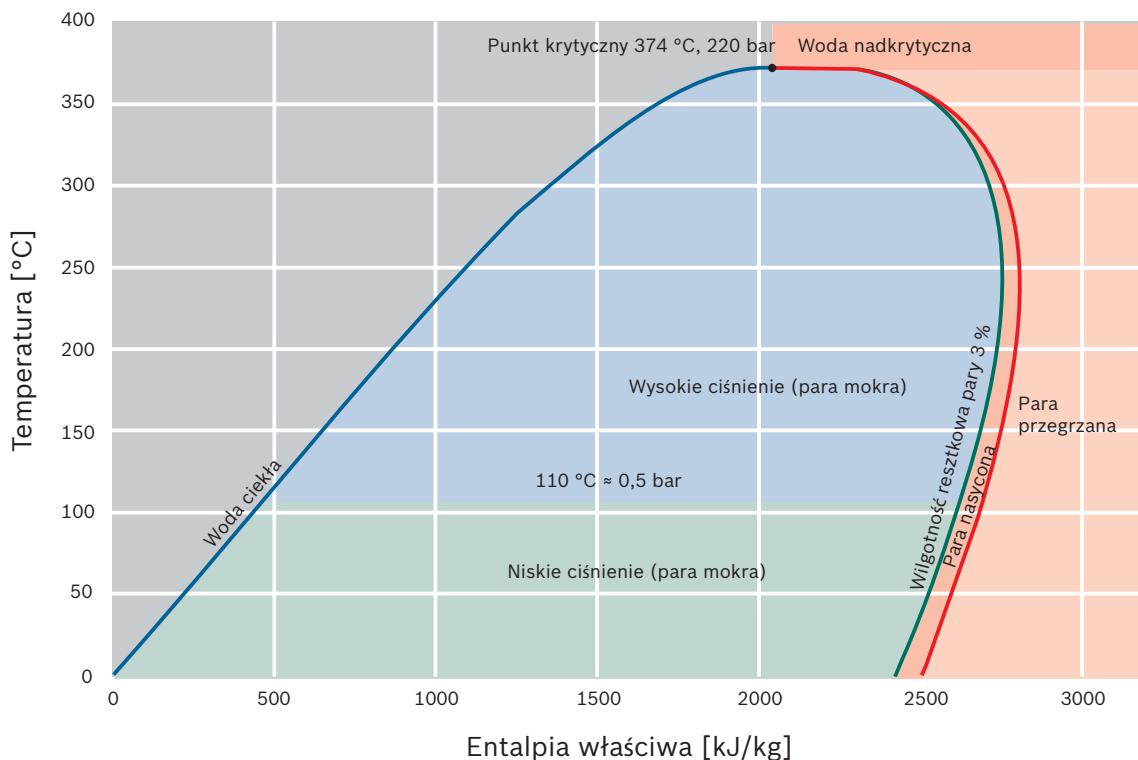
### 1.1.1 Para nasycona lub para sucha nasycona

Para na granicy między parą mokrą i przegrzaną jest nazywana parą nasyconą lub dla odróżnienia od pary mokrej, także „parą suchą nasyconą” lub „parą suchą”. Wartości podane w tablicach pary odnoszą się właśnie do tego stanu pary.

→ Narzędzia – Rozdział 4.2: Tablice woda-pary, strona 400

W praktyce w obliczeniach dotyczących wymienników ciepła czy zapotrzebowania na parę do procesów termicznych prawie zawsze przyjmuje się parametry fizyczne pary nasyconej.

W rzeczywistości para nasycona występuje jednak tylko dokładnie na granicy pomiędzy stanem pary mokrej i przegrzanej. Przy minimalnym nawet oziębieniu przy tym samym ciśnieniu para przechodzi w stan pary mokrej, a przy minimalnym ogrzaniu w stan pary przegrzanej. Gdy jednak para znajduje się w stanie bliskim tej granicy, można przyjąć do obliczeń projektowych systemu parowego parametry fizyczne pary nasyconej.



Ryc. 35 Wykres stanu wody i pary w układzie entalpia-temperatura (wykres T-h) z opisami powierzchni w rozumieniu technicznym

### 1.1.2 Para mokra

Para mokra jest mieszkanką wody w stanie ciekłym i gazowym. Para o bardzo małym udziale frakcji wodnej do ok. 3 % nadal uważana jest w technice za parę nasyconą. Para w takim stanie jest najczęściej używana w instalacjach przemysłowych do procesów technologicznych i produkcyjnych.

Już w momencie opuszczania kotła strumień pary porywa mikroskopijne kropelki wody kotłowej. Jest to tzw. wilgotność resztkowa pary, czyli frakcja ciekła (1 do 3 % całkowitej masy). Zawartość wilgotności resztkowej można ograniczyć do ok. 0,1 % instalując np. osuszacze pary na wylocie pary z kotła.



W technice parę o wilgotności resztkowej  $\leq 3\%$  nadal uważa się za parę nasyconą, a nie za parę moką.

Wilgotność resztkowa określa udział masowy frakcji wodnej w całkowitej masie mieszanki wody i pary. Oprócz wilgotności resztkowej istnieje jeszcze pojęcie udziału frakcji parowej  $x$ , który odpowiada zawartości pary w mieszance wody i pary.

Wyraża się to wzorem:

udział frakcji parowej =  $100\% - \text{wilgotność resztkowa}$

Przykład granicy wyznaczającej parę nasyconą w rozumieniu technicznym:

$100\% - 3\%$  wilgotności resztkowej =  $97\%$  udział frakcji parowej



→ Ryc. 35, strona 106

Z powodu strat ciepła do otoczenia zachodzących we wszystkich przewodach parowych część pary ulega kondensacji, a więc rurociągiem zawsze płynie para wilgotniejsza, zawierająca niewielką frakcję wodną. Tę wodę trzeba usuwać instalując odwadniacze w regularnych odstępach na rurociągu, przed armaturami regulacyjnymi oraz pionowymi odcinkami przewodów.

Para mokra o bardzo małej zawartości frakcji parowej występuje np. przy wtórnym odparowaniu za odwadniaczem pływakowym. Należy przede wszystkim zauważyć, że przy wtórnym odparowaniu kondensat bardzo zwiększa swoją objętość, co trzeba uwzględnić w wymiarowaniu przewodów kondensatu.

→ Technika – Rozdział 5.4: Przewody kondensatu, strona 224

### 1.1.3 Para przegrzana

Gdy para nasycona jest dalej ogrzewana, to temperatura pary wzrasta przy stałym ciśnieniu. Mówi się wówczas o parze przegrzanej. Para przegrzana może być wytwarzana w kotłach płomienicowo-płomieniówkowych z dodatkowym modulem przegrzewacza. Para przegrzana może osiągać temperaturę  $\leq 100\text{ K}$  powyżej temperatury pary nasyconej.

Para przegrzana może służyć jako energia napędowa dla turbiny gazowej lub być przesyłana do rozdzielaczy pary na duże odległości, ponieważ pomimo strat ciepła na rurociągu nie ulega jeszcze skropleniu.

Należy jednak zaznaczyć, że przenoszenie ciepła przez parę przegrzaną zanim ulegnie skropleniu jest mniejsze. Dlatego też para przegrzana nieco gorzej nadaje się do ogrzewania wymienników ciepła niż para nasycona.

#### 1.1.4 Para wysokociśnieniowa i niskociśnieniowa

Para o ciśnieniu  $p \leq 0,5$  bar (1,5 bara, 110 °C) jest nazywana parą niskociśnieniową. Para o ciśnieniu  $p > 0,5$  bar jest nazywana parą wysokociśnieniową. Różnica wynika wyłącznie z przepisów dotyczących montażu i eksploatacji kotłowni parowych. Instalacje do wytwarzania pary wysokociśnieniowej podlegają szczególnym wymaganiom co do eksploatacji, montażu i nadzoru. Para niskociśnieniowa ma bardzo małą gęstość, dlatego rurociągi, armatury i przyrządy do pary niskoprężnej muszą mieć bardzo duże rozmiary. Stąd para niskociśnieniowa jest zazwyczaj używana w instalacjach o mniejszym zapotrzebowaniu na parę (do ok. 3 t/h) i wymagających przesyłu na małe odległości.

→ Projektowanie – Rozdział 5.5: Przewód wydmuchowy zaworu bezpieczeństwa, strona 226

#### 1.1.5 Para kulinarna

Para kulinarna odpowiada technologicznie parze nasyconej z tym dodatkowym wymogiem, że nie stosuje się lotnych środków chemicznych do alkalizacji i wiązania tlenu resztkowego.

Zastosowanie, jak sama jej nazwa wskazuje, znajduje w procesach przetwórstwa spożywczego na potrzeby ludzi i zwierząt. Może wchodzić w bezpośrednią styczność z artykułami spożywczymi (np. przy obieraniu ziemniaków).

#### 1.1.6 Para czysta

Para czysta, a także para sterylna, jest wytwarzana w specjalnie do tego przeznaczonych wytwornicach wykonanych ze stali nierdzewnej, na bazie zwykłej pary nasyconej.

Para tego rodzaju jest używana tam, gdzie istnieją bardzo wysokie wymagania co do czystości pary, np. w szpitalach do sterylizacji narzędzi operacyjnych albo w przemyśle farmaceutycznym.

#### 1.1.7 Para wtórna z rozprężenia

Para z rozprężenia powstaje w wielu miejscach kotłowni parowej i musi zostać odpowiednio uwzględniona.

Sytuacja taka występuje na przykład w przypadku rozprężacza odmulin czy otwartych zbiorników kondensatu, gdzie para wtórna oznacza stratę ciepła. Ciepło tracone z parą wtórną można w pewnym stopniu odzyskać stosując odpowiednie urządzenia do odzysku ciepła.

W przypadku akumulatorów pary proces wtórnego odparowania wrzącej wody jest wykorzystywany zupełnie świadomie dla krótkotrwałego wytworzenia bardzo dużej ilości pary.

→ Efektywność – Rozdział 3.1: Odsalanie i odmulanie, strona 279

→ Technika – Rozdział 4.3.4: Akumulacja pary, strona 196





### Para z rozprężenia/parowanie wtórne:

Gdy następuje zmniejszenie ciśnienia gorącej wody (w stanie ciekłym) poniżej ciśnienia wrzenia, część wody odparowuje i rozdziela się na fazę ciekłą i gazową. Temperatura wody i pary zmniejsza się przy tym do temperatury wrzenia odpowiadającej zastosowanemu ciśnieniu.

To zjawisko fizyczne nazywa się często parowaniem wtórnym.



### Przykład:

Woda o temperaturze  $T = 195 \text{ }^\circ\text{C}$  zostaje rozprężona do ciśnienia  $p = 4 \text{ bar}$ . Entalpia (energia) układu pozostaje przy rozprężeniu stała. Jednocześnie masa układu pozostaje również stała, bilans energii przyjmuje więc postać bilansu entalpii.

Energia w układzie **przed** rozprężeniem = energia w układzie **po** rozprężeniu



$$h = (1 - x) \cdot h' + x \cdot h''$$



**Wzór 17** Równanie bilansowe przy rozprężeniu

$$x = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{h - h'}{r}$$



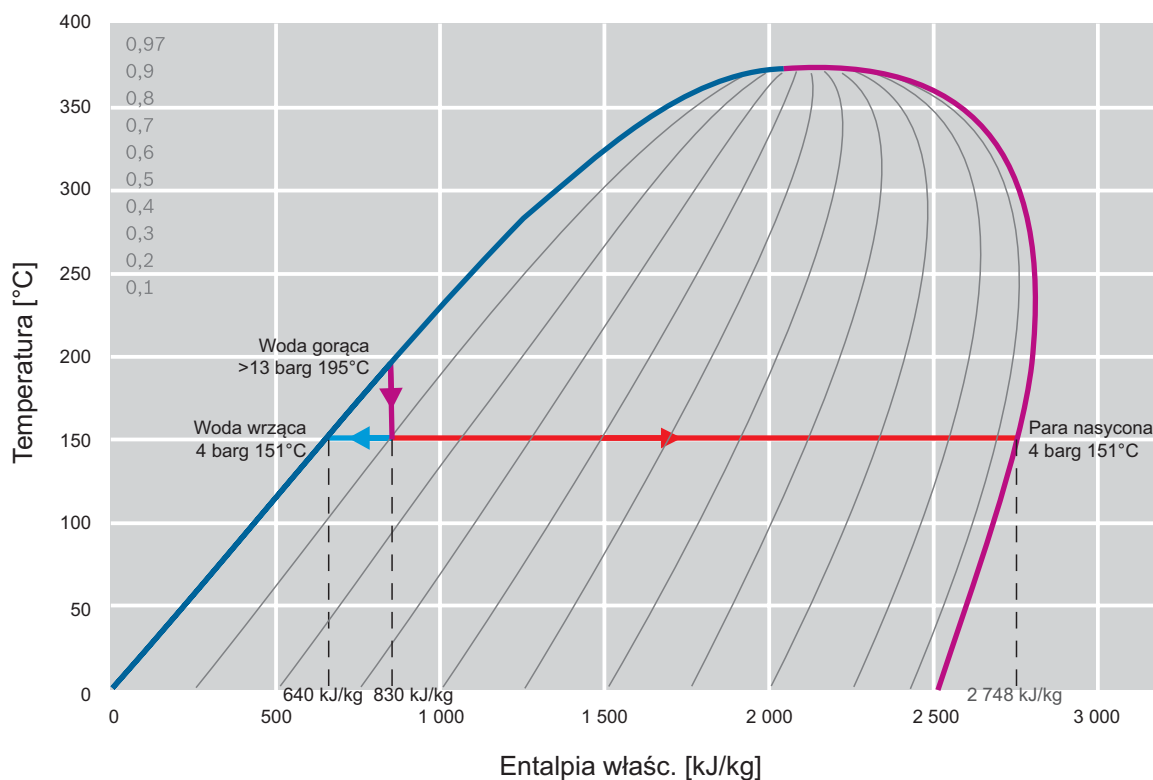
**Wzór 18** Równanie bilansowe przy rozprężeniu

- x     Udział masowy pary z rozprężenia [%]
- h     Entalpia [kJ/kg]
- h'    Entalpia wody wrzącej [kJ/kg]
- h''   Entalpia pary nasyconej [kJ/kg]
- r     Entalpia parowania [kJ/kg]

$$x = \frac{919 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}}{2780 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}} = 6,9\% \%$$



**Przykł. 8** Obliczenie udziału masowego pary z rozprężenia

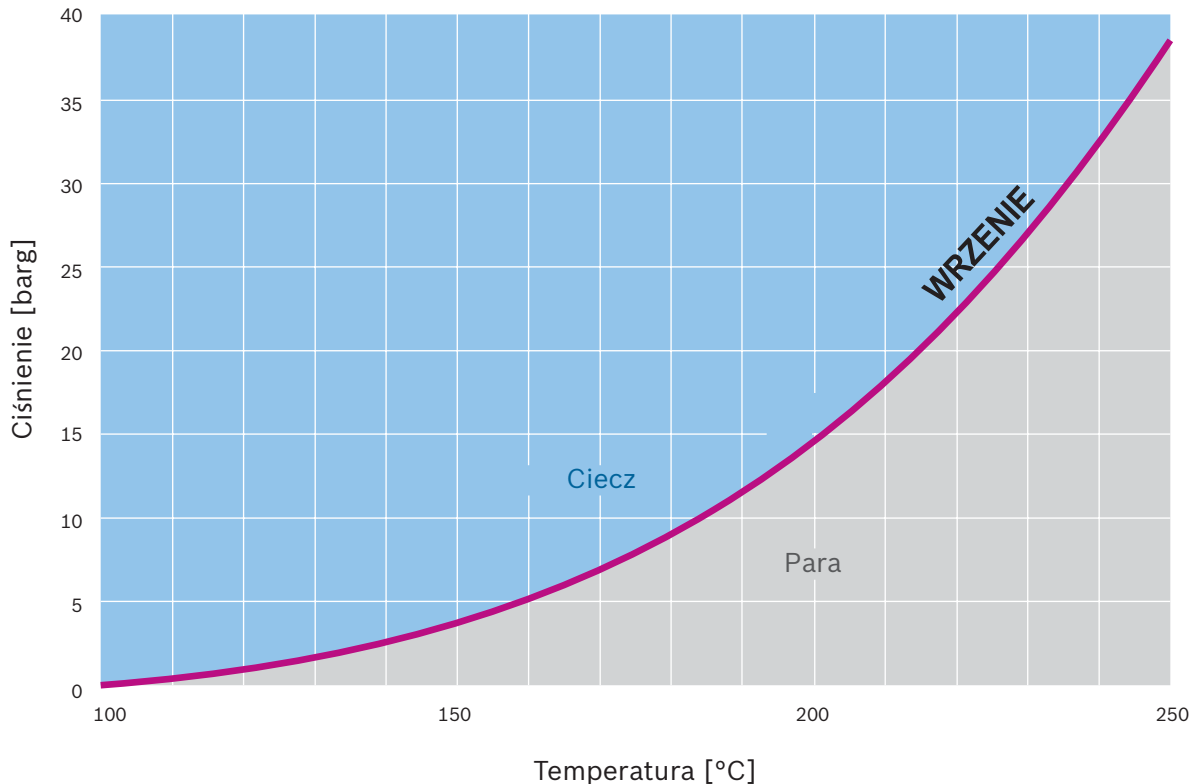


**Ryc. 36** Parowanie wtórne na wykresie zależności entalpii od temperatury (wykres T-h)



## 1.2 Ciśnienie i temperatura

W kotłach wytwarzających parę nasyconą zachodzi fizyczny związek między temperaturą i ciśnieniem. Na wykresie można go przedstawić graficznie przy pomocy tzw. linii wrzenia.



Ryc. 37 Linia wrzenia czystej wody na wykresie zależności temperatury wrzenia od ciśnienia (zakres < 40 bar)

To oznacza, że zmierzonemu ciśnieniu w kotle wytwarzającym parę nasyconą odpowiada określona temperatura. Ta zależność ma istotne znaczenie dla ogrzewania, ponieważ temperatura pozostaje stała, dopóki para całkowicie się nie skropi (np. w wymienniku ciepła). Dopiero kiedy nie ma więcej pary, następuje oziębienie obecnej już tylko wody. Tą zależność wykorzystuje się też do sterowania kotłowniami parowymi. Poprzez prosty i przede wszystkim bardzo szybki i precyzyjny pomiar ciśnienia można od razu dokładnie określić też temperaturę.

### 1.3 Entalpia

Entalpia właściwa  $h$  [kJ/kg] oznacza całkowitą ilość ciepła zawartego w parze.

Entalpia dzieli się na ciepło jawne, które wywołuje zmiany temperatury, oraz ciepło utajone („ukryte”), gdy przy stałej temperaturze udział pary zmienia się od 0 do 100 %.

Dostarczanie energii cieplnej powoduje ogrzewanie się wody aż do osiągnięcia linii wrzenia. Gdy linia wrzenia zostaje osiągnięta, przy dalszym dostarczaniu energii rośnie zawartość pęcherzyków pary w objętości wody, dopóki cała woda nie zmieni się w parę.

Entalpia właściwa parowania  $r$  wody wyrażona w [kJ/kg] oznacza taką ilość energii cieplnej, która musi zostać doprowadzona do 1 kg wody, aby woda przeszła ze stanu ciekłego w stan gazowy. W kotle doprowadzenie ciepła odbywa się przy stałym ciśnieniu, w związku z tym nie występuje także wzrost temperatury, stąd ta energia cieplna jest nazywana ciepłem utajonym.

Odwrotny proces zachodzi przy oddawaniu ciepła. Najpierw para skrapla się, oddając ciepło utajone ogrzewanemu czynnikowi, aż całkowicie zmieni się w wodę (faza ciekła). Dopiero wtedy następuje oziębienie kondensatu. To oziębienie kondensatu jest też często nazywane przechłodzeniem poniżej temperatury linii wrzenia, odpowiadającej danemu ciśnieniu pary.

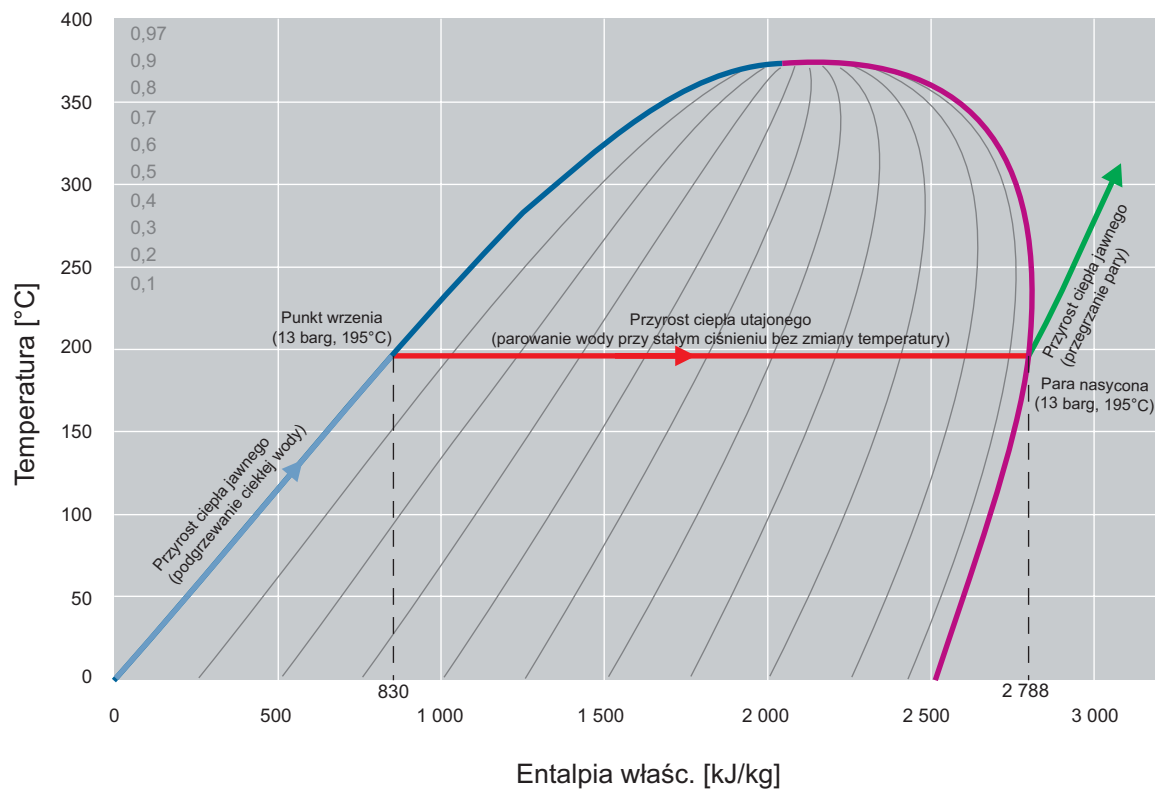
#### **Ciepło jawne**

Dostarczaniu i oddawaniu ciepła towarzyszy zmiana temperatury, np. podgrzewanie wody czy przegrzewanie pary.

#### **Ciepło utajone**

Dostarczaniu i oddawaniu ciepła nie towarzyszy zmiana temperatury. Ciepło jest ukryte w zmianie stanu skupienia, np. z wody w parę.





Ryc. 38 Koncepcja ciepła jawnego i utajonego na wykresie zależności entalpii od temperatury (wykres T-h)

— Ciecz nasycona

— Woda pod ciśnieniem

— Para przegrzana

— Para nasycona

— Para mokra

## 1.4 Zalety i wady systemów parowych

### 1.4.1 Zalety i wady systemów parowych w porównaniu z systemami wody gorącej

#### Zalety

- Mniejsza masa potrzebna do przetransportowania tej samej ilości ciepła (o współczynnik 10 ... 50)
- Niepotrzebne pompy obiegowe
- Możliwe bardzo szybkie i równomierne ogrzewanie odbiorników ciepła
- Szybka i precyzyjna regulacja temperatury przez ustawienie ciśnienia pary
- Możliwe uwalnianie dużej ilości energii przy stałej temperaturze
- Bardzo wysoki współczynnik przenoszenia ciepła przy kondensacji – dzięki temu możliwe mniejsze powierzchnie wymiany ciepła i niższe koszty wytwarzania ciepła technologicznego
- Może wchodzić w bezpośrednią styczność z produktami (np. żywnością, technologia autoklawów)
- Możliwa prosta rozbudowa instalacji o dodatkowe moduły
- Ewentualne wycieki przez uszczelnienia lub armatury nie mają charakteru krytycznego

#### Wady

- Wymagany wykwalifikowany operator kotła <sup>1)</sup>
- Konieczne ciągłe przygotowanie wody

1) W przypadku instalacji grzewczych  $\leq 110$  °C obowiązują niższe wymagania

### 1.4.2 Zalety i wady systemów parowych w porównaniu z instalacją oleju termalnego

#### Zalety

- Mniejsza masa potrzebna do przetransportowania tej samej ilości ciepła (o współczynnik 20...80)
- Niepotrzebne pompy obiegowe
- Znacznie lepsze właściwości przenoszenia ciepła przez parę
- Nośnik olejowy stanowi zagrożenie dla środowiska, dlatego:
  - wymagane stosowanie dodatkowych wymienników ciepła
  - wymagane wanny zbierające wycieki i monitoring wszystkich miejsc uszczelnienia pod kątem wycieków
  - wymagane specjalne uszczelnienia wałów pomp i zaworów
- Nośnik olejowy stwarza zagrożenie pożarowe
- Niższe koszty wytwarzania ciepła technologicznego, w szczególności dzięki uzyskiwaniu wyższej sprawności

#### Wady

- Nie nadaje się do celów chłodniczych
- Temperatury ogrzewania  $\leq 230$  °C (instalacje pary nasyconej) i  $\leq 300$  °C (instalacje pary przegrzanej)







**BOSCH**



## 2 Kocioł

Kotły parowe występują w dwóch różnych rodzajach konstrukcyjnych:

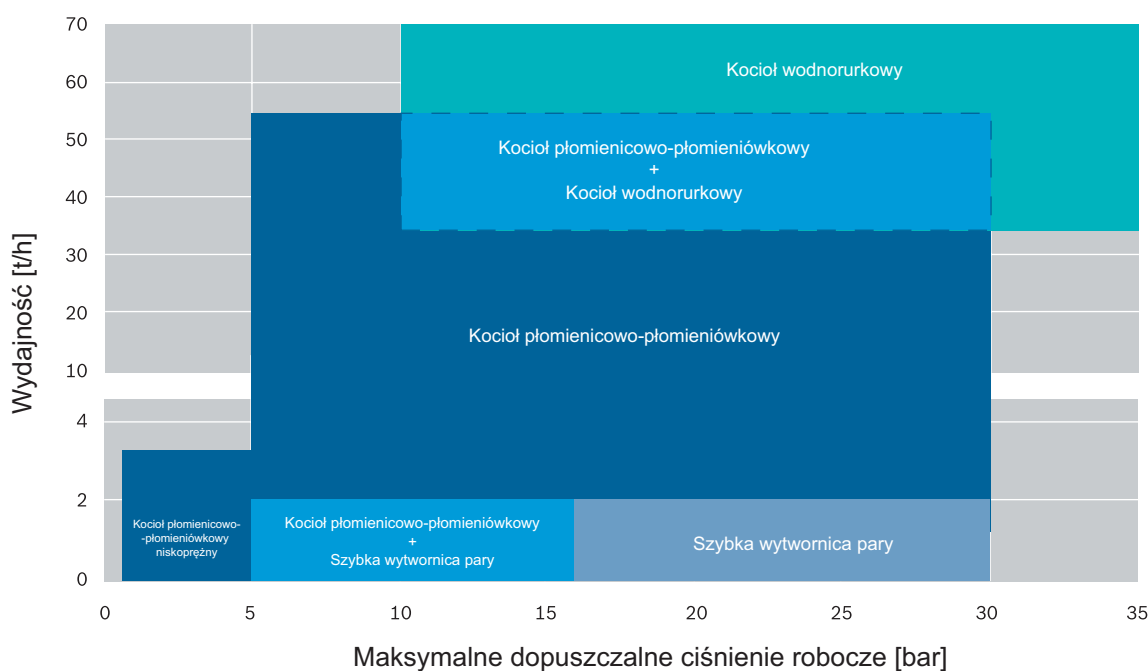
### Kocioł wodnorurkowy (opłomkowy)

W kotle wodnorurkowym woda płynie przez rurki wodne (opłomki), które z zewnątrz są ogrzewane przez spaliny. Kocioł tego typu jest stosowany przede wszystkim tam, gdzie jest potrzebna bardzo duża ilość pary (> 100 t/h) pod wysokim ciśnieniem (> 32 bar). Stosowanie opłomek pozwala na dowolne ukształtowanie komory spalania, co umożliwia spalanie w kotle wodnorurkowym także paliw stałych.

### Kocioł płomienicowo-płomieniówkowy

W kotle płomienicowo-płomieniówkowym spaliny lub gazy odpadowe użyte do ogrzewania przepływają przez płomienicę i płomieniówki przekazując swoją energię do otaczającej je przestrzeni wodnej ograniczonej zewnętrzną powłoką kotła. Spalanie zachodzi w płomienicy otoczonej wodą - dalsze chłodzenie spalin odbywa się w kolejnych ciągach płomieniówek.

→ Raport Branżowy FB013: Porównanie kotła płomienicowo-płomieniówkowego i wodnorurkowego



Ryc. 39 Typowe zakresy zastosowania różnych rodzajów kotłów parowych: płomienicowo-płomieniówkowych, szybkich wytwornic pary i wodnorurkowych

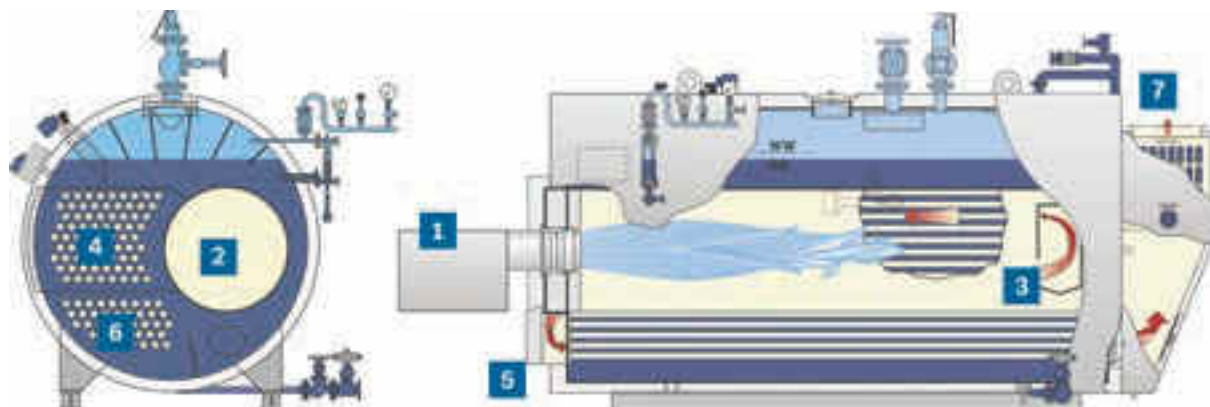
## 2.1 Typy konstrukcyjne

Skonstruowano różne typy kotłów parowych odpowiadające następującym wymagom dotyczącym w szczególności::

- ustawienia
- eksploatacji
- ciśnienia pary i wydajności
- spalania niskoemisyjnego
- wysokiej sprawności

### 2.1.1 Kocioł 3-ciągowy

Kocioł 3-ciągowy jest zbudowany z trzech poziomych ciągów przepływu spalin umieszczonych w dużym cylindrycznym zbiorniku ciśnieniowym (walczaku) zamkniętym z obu końców dennicami. Wszystkie ciągi spalin są ulokowane w przestrzeni wodnej, która zajmuje 75 % pojemności walczaka. Nad nią znajduje się przestrzeń parowa, w której zbiera się para. Kotły o takiej konstrukcji noszą także nazwę kotłów płaszczowych o dużej pojemności wodnej ze względu na dużą objętość znajdującej się w nich wody.



Ryc. 40 3-ciągowy kocioł płomieniowo-płomieniówkowy

- |                                            |                                              |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>1</b> Palnik                            | <b>5</b> Przednia komora nawrotna spalin     |
| <b>2</b> Płomienica (1. ciąg)              | <b>6</b> Ciąg płomieniówek (3. ciąg)         |
| <b>3</b> Wewnętrzna komora nawrotna spalin | <b>7</b> Wylot spalin z kotła do ekonomizera |
| <b>4</b> Ciąg płomieniówek (2. ciąg)       |                                              |

W 1. ciągu, w płomienicy, odbywa się spalanie. Już tutaj połowa ciepła jest oddawana ścianie płomienicy, głównie przez promieniowanie. Na końcu płomienicy spalanie kończy się, a spaliny są kierowane przez wewnętrzną, omywaną wodą komorę nawrotną do 2. ciągu.

W płomieniówkach 2. ciągu spaliny oddają ok. 35 % swego ciepła. Następnie spaliny o temperaturze ~ 400 °C przechodzą do przedniej, zewnętrznej komory nawrotnej, która kieruje je do 3. ciągu.

Po przejściu przez 3. ciąg spaliny zazwyczaj mają jeszcze temperaturę 200 – 280 °C, w zależności od temperatury czynnika w przestrzeni wodnej kotła.

To ciepło unieszone ze spalinami można odebrać stosując zintegrowany ekonomizer. Zastosowanie ekonomizera pozwala na obniżenie temperatury spalin do 90 – 140 °C.

Kotły z jedną płomienicą osiągają wydajność do 28 000 kg/h.



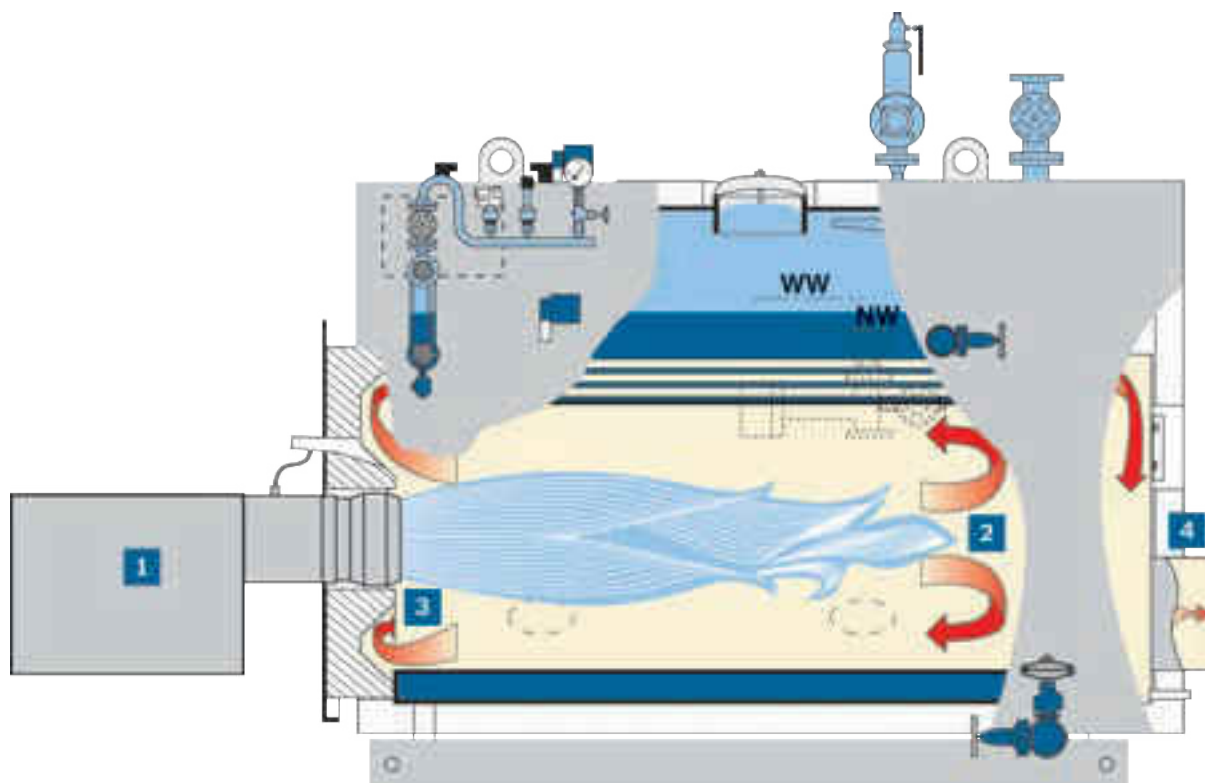
Dla większych wydajności są przeznaczone kotły z dwiema płomienicami. Kotły tego typu mają dwie, równoległe zainstalowane płomienice z oddzielnymi drugimi i trzecimi ciągami spalinowymi, umieszczone w przestrzeni wodnej. Kotły z dwiema płomienicami mogą osiągać wydajność do 55 000 kg/h. Budowa kotłów dwupłomienicowych umożliwia ich nieograniczoną pracę z jednym tylko paleniskiem, co zapewnia ciągłość pracy kotła w sytuacji awarii jednego z palenisk oraz pozwala zwiększyć zakres regulacji.



**Ryc. 41** 3-ciągowy kocioł płomienicowo-płomieniówkowy w wariantcie z dwiema płomienicami



## 2.1.2 Kocioł z wewnętrzną recyrkulacją spalin



Ryc. 42 Kocioł z wewnętrzną recyrkulacją spalin

- 1 Palnik
- 2 Wewnętrzna komora nawrotna spalin
- 3 Przednia komora nawrotna spalin
- 4 Wylot spalin z kotła do ekonomizera

Kocioł z wewnętrzną recyrkulacją spalin został zaprojektowany jako kocioł parowy dla małych wydajności od 175 do 3200 kg/h. Płomienica jest umieszczona centrycznie, na końcu płomienicy spaliny są zawracane z powrotem ku przodowi kotła. W przedniej komorze nawrotnej spaliny są kierowane do płomieniówek otaczających płomienicę. Ten typ kotła cechuje się bardzo kompaktową budową. Spalanymi paliwami mogą być olej i gaz.





Ryc. 43 Kocioł z wewnętrzną recyrkulacją spalin

### 2.1.3 Kotły do odzysku ciepła

Szczególną formę konstrukcyjną stanowią tzw. kocioł 4-ciągowy i kocioł czysto odzysknicowy. W kotle 4-ciągowym część 3-go ciągu płomieniówek wydzielono jako oddzielny ciąg do prowadzenia gorących spalin, skąd pochodzi ok. 15 % energii do zasilania kotła. Kocioł czysto odzysknicowy jest w ogóle pozbawiony palnika. Cała dostarczana energia pochodzi z gorących spalin (np. z modułu kogeneracyjnego lub turbiny gazowej)

→ Efektywność – Rozdział 5.1: Kombinowanie procesów, strona 305

→ Produkty – Rozdział 3: Kotły odzysknicowe i metody odzysku ciepła, strona 335

### 2.1.4 Szybka wytwornica pary

Szybka wytwornica pary ze względu na swoją budowę należy do rodziny kotłów wodnorurkowych, z jedną lub kilkoma węzownicami. Woda przepływa przez węzownicę (lub węzownice), gdzie jest ogrzewana przez gorące spaliny wytworzone w procesie spalania. Wytwornica działa na zasadzie wymuszonego przepływu, w którym woda ulega całkowitemu wyparowaniu w obrębie węzownicy. Pojemność wodna szybkiej wytwornicy pary jest niewielka, dlatego kocioł tego typu osiąga pełną moc w ciągu kilku minut od zimnego rozruchu. Stąd też jego nazwa. Szybka wytwornica pary może być wyposażona w palnik olejowy lub gazowy nadmuchowy, przy czym regulacja mocy zawsze musi być dopasowana do przepływającego strumienia wody.

	<b>Kocioł płomienicowo-płomieniówkowy</b>	<b>Szybka wytwornica pary</b>
<b>Pojemność wodna</b>	Duża	Mała
<b>Czas nagrzewania</b>	Dłuższy	W ciągu kilku minut od zimnego rozruchu
<b>Zachowanie w razie wahań obciążenia</b>	Wyrównywanie wahań obciążenia na odbiorach  Możliwe silne krótkotrwałe przeciążenia w przypadku stosowania akumulatorów pary	Silne wahania ciśnienia już w przypadku niewielkiej zmiany obciążenia na odbiorze
<b>Wilgotność pary</b>	Para sucha	Konieczne osuszacze pary
<b>Pozwolenie na montaż i konieczność nadzoru<sup>1)</sup></b>	Zazwyczaj wymaga pozwolenia i nadzoru	W bardzo małym zakresie mocy częściowo uproszczone warunki montażu i nadzoru
<b>Koszt zakupu</b>	Większy	Mniejszy
<b>Personel obsługi<sup>1)</sup></b>	Wymagane kwalifikacje operatora kotła <sup>1)</sup>	Wymagane szkolenie personelu <sup>1)</sup>
<b>Maksymalna wydajność</b>	≤ 55 000 kg/h	≤ 2 000 kg/h
<b>Sprawność</b>	94 – 105 %  dlatego przeznaczone do pracy ciągłej	< 90 %  dlatego przeznaczone tylko do krótkotrwałego dostarczania pary w szybkim czasie
<b>Sprawność całoroczna</b>	≤ 95 %	Często < 75 %
<b>Koszty konserwacji</b>	Mniejsze	Większe
<b>Okres przydatności do użytku</b>	Trwały, małe zużycie, długi okres użytkowania	Krótki

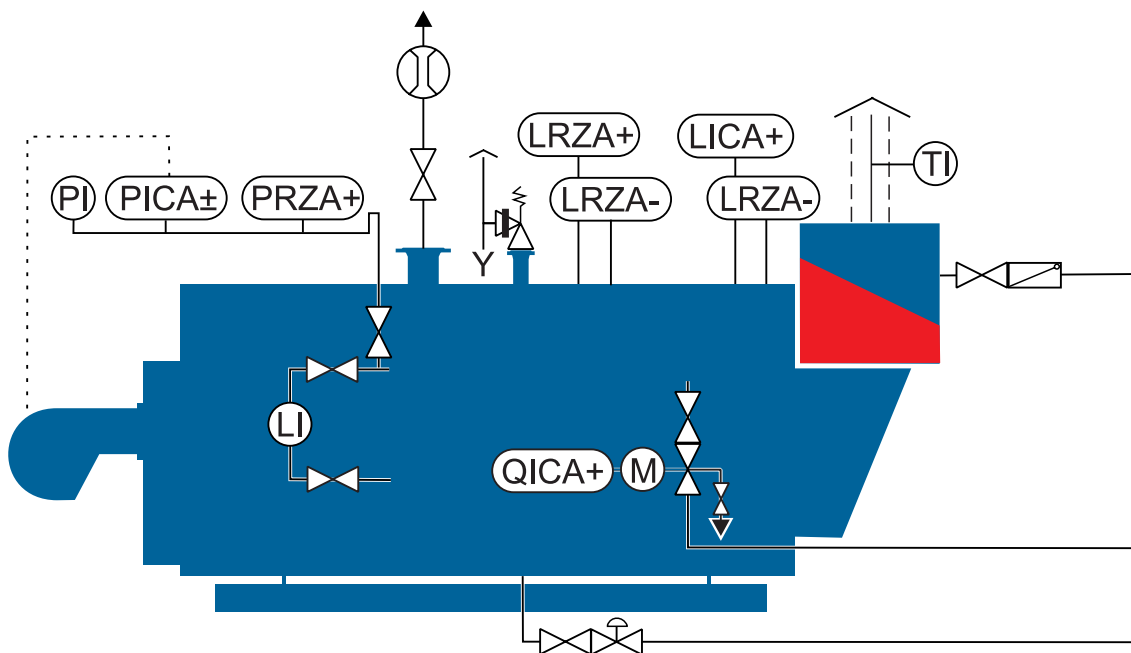
**Tab. 9** Porównanie szybkiej wytwornicy pary i kotła płomienicowo-płomieniówkowego

1) Dotyczy Niemiec



## 2.2 Wyposażenie i regulacja

Minimalne wymagania dotyczące eksploatacji i wyposażenia kotłów parowych określono w normie EN 12953-6. Do wyposażenia kotłów należą armatury odcinające na króćcach przyłącznych, osprzęt bezpieczeństwa zapobiegający przekroczeniu dopuszczalnego ciśnienia i wystąpieniu braku wody, urządzenia do ogrzewania i wszystkie armatury i przyrządy pomiarowe niezbędne do eksploatacji i regulacji. Wszystkie te elementy wyposażenia wymagają dopuszczeń i certyfikatów zgodności z Dyrektywą Ciśnieniową PED.



Ryc. 44 Wyposażenie kotła parowego

Wyposażenie kotła parowego obejmuje głównie następujące komponenty:

- zawór odcinający poboru pary z przepływomierzem pary
- zawór bezpieczeństwa (zapobiegający przekroczeniu dopuszczalnego ciśnienia)
- zawór odcinający wodę zasilającą z zaworem zwrotnym
- belka manostatyczna z zaworem odcinającym, ogranicznikiem ciśnienia (**PRZA+**), przetwornikiem ciśnienia (**PICA±**) i manometrem (**PI**)
- wodowskaz bezpośredni z zaworami odcinającymi
- rura osłonowa 1 z ogranicznikiem niskiego poziomu wody 1 (**LRZA-**) i przetwornikiem poziomu (**LICA+**)
- rurą osłonową 2 z ogranicznikiem niskiego poziomu wody 2 (**LRZA-**) i ogranicznikiem wysokiego poziomu wody (**LRZA+**)
- pomiar przewodności (**QICA+**)
- regulacyjny zawór odsalający wraz zaworem odcinającym
- armatura probiercza wody
- szybkozamykający zawór odmulający z zaworem odcinającym
- wskaźnik temperatury spalin (**TI**)

Dla zapewnienia optymalnego użytkowania kotłowni parowej i zarządzania energią mogą być ponadto potrzebne dodatkowe komponenty takie jak liczniki zużycia paliwa, przepływomierze pary, wody zasilającej oraz przetworniki temperatury spalin.

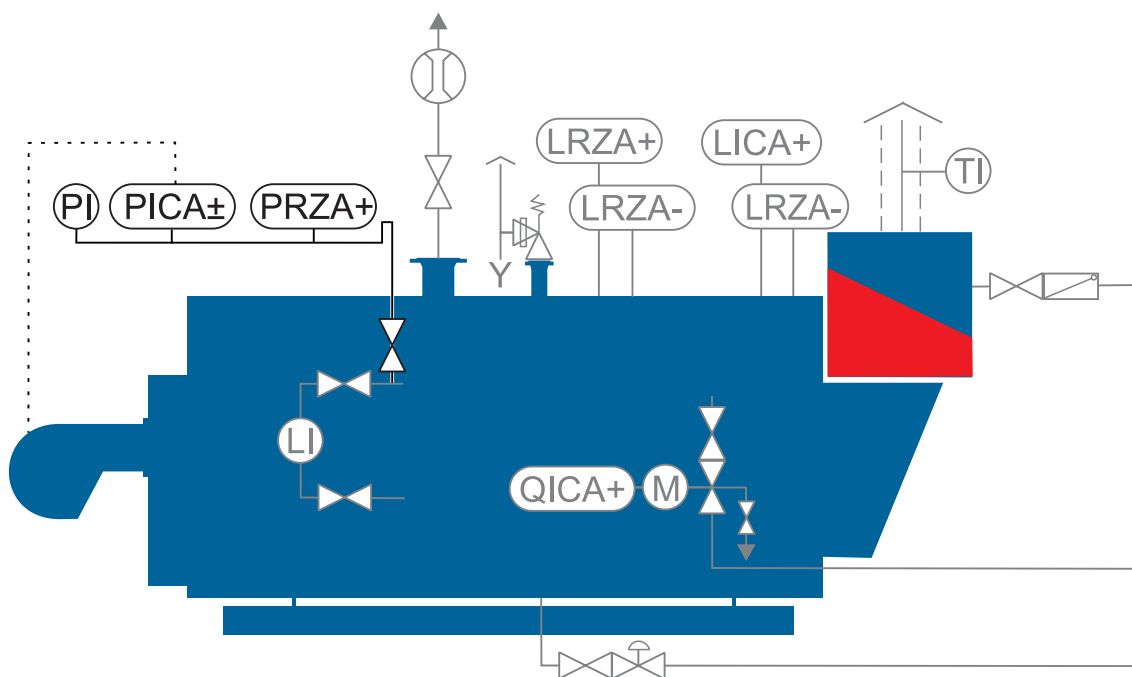
## 2.2.1 Moc kotła parowego

Moc kotła parowego jest regulowana przez ciśnienie panujące w kotle. Ciśnienie w kotle w tym przypadku jest wielkością zastępującą ilość pary. Zwiększenie odbioru pary powoduje spadek ciśnienia w kotle. Wówczas regulacja mocy zwiększa dopływ energii cieplnej lub moc palnika. Należy mieć na uwadze, że układ kocioł/palnik jest układem bezwładnościowym. Wszystkie przyrządy regulujące i nastawcze połączone z układem również zachowują się w ten sposób. W żadnym wypadku nie należy próbować regulować ciśnienia na odbiornikach pary używając oprzyrządowania kotła, gdyż w ten sposób można spowodować wahania regulacji i niepotrzebne obciążenia i zakłócenia w ruchu kotła. Przy równomiernym odbiorze pary, palnik modulowany z właściwie ustawioną regulacją płynnie dostosowuje się do bieżącego zapotrzebowania na parę i utrzymuje ciśnienie w kotle na stałym poziomie w dopuszczalnych granicach z tolerancją +/- 10 % od zadanej wartości.

→ Raport Branżowy FB001: Regulacja mocy kotłów parowych

→ Projektowanie – Rozdział 2.1: Średnie ciśnienie robocze, strona 29

Na manometrze (**PI**) można bezpośrednio odczytać ciśnienie panujące w kotle. Przetwornik ciśnienia (**PICA±**) mierzy ciśnienie i zamienia pomiar na sygnał elektryczny (4 – 20 mA). Ten sygnał jest przetwarzany przez sterowanie i analizowany w zależności od wybranego rodzaju regulacji. Palnik jest sterowany poprzez nastawialne punkty włączenia i wyłączenia oraz parametry zadana. Regulacja palnika odpowiada także za prawidłowe ustawienie mieszanki paliwowo-powietrznej.



Ryc. 45 Sterowana ciśnieniem regulacja mocy kotła parowego

**PI** Manometr

**PICA±** Przetwornik ciśnienia

**PRZA+** Ogranicznik ciśnienia

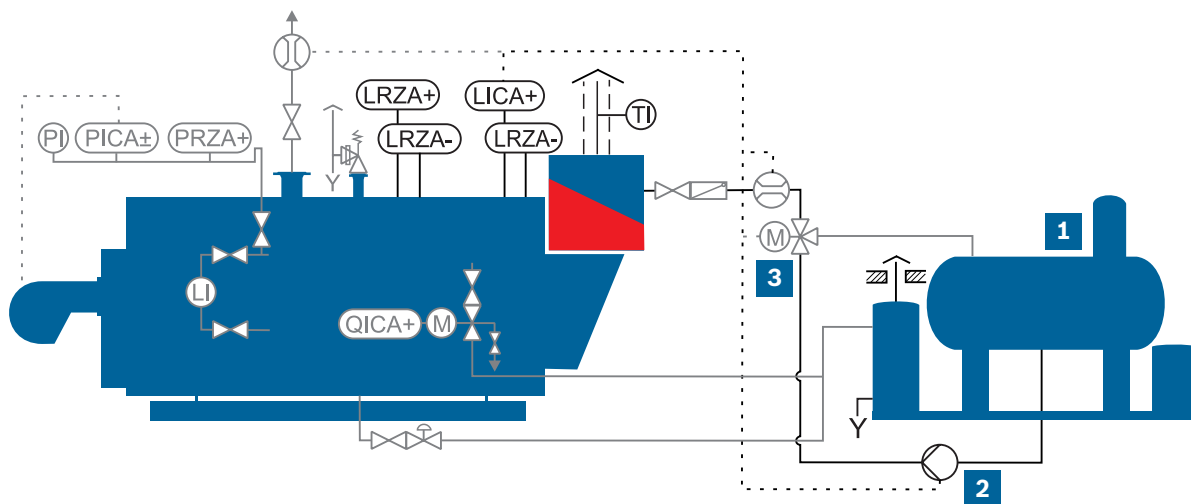


### 2.2.2 Regulacja poziomu

Zadaniem regulacji poziomu w kotle jest utrzymywanie możliwie stałego poziomu wody. Maksymalna rozpiętość wahań poziomu wody najczęściej mieści się w zakresie 80 – 120 mm i zależy od konstrukcji kotła. Dolny poziom wody jest ograniczony widocznym oznaczeniem niskiego poziomu wody (**NW**); powierzchnie ogrzewalne kotła muszą być zawsze przykryte wodą, aby miały zapewnione dostateczne chłodzenie. Górny poziom wody jest ograniczony oznaczeniem wysokiego poziomu wody (**WW**). Przestrzeń parowa nie może być zbyt mała, w przeciwnym razie woda mogłaby być porywana do sieci parowej, co pogarszałoby jakość pary. Aby uniknąć zakłóceń w ruchu i uszkodzenia kotła i połączonych z nim odbiorników pary w regulatorze poziomu fabrycznie ograniczono możliwości lokalnego wyboru nastawy średniego poziomu wody. Nastawy te można wybrać tylko w dopuszczalnym zakresie.

Przetwornik poziomu (**LICA+**) stale mierzy obecny w kotle poziom wody i zamienia wynik pomiaru na sygnał elektryczny (4 – 20 mA). Ten sygnał jest przetwarzany przez sterowanie BCO i steruje zaworem regulacyjnym wody zasilającej lub pompą wody zasilającej, w zależności od wybranego wyposażenia.

Na wlocie do kotła lub ekonomizera znajduje się zawór odcinający i zawór zwrotny, które uniemożliwiają zawrócenie wody z kotła do przewodu zasilającego. Na kotle, na wysokości rzeczywistego poziomu wody, jest zamontowany dodatkowy wodowskaz (**LI**) do bezpośredniego odczytu poziomu wody.



Ryc. 46 Regulacja poziomu w kotle parowym

- |              |                                    |          |                                    |
|--------------|------------------------------------|----------|------------------------------------|
| <b>LICA+</b> | Przetwornik poziomu                | <b>1</b> | Zbiornik wody zasilającej          |
| <b>LRZA+</b> | Ogranicznik wysokiego poziomu wody | <b>2</b> | Pompa wody zasilającej             |
| <b>LRZA-</b> | Ogranicznik niskiego poziomu wody  | <b>3</b> | Zawór regulacyjny wody zasilającej |
| <b>TI</b>    | Wskaźnik temperatury spalin        |          |                                    |

Oprócz regulacji poziomu ograniczenie poziomu wody jest także realizowane przez łańcuch zabezpieczeń.

→ Technika – Rozdział 2.2.4: Bezpieczeństwo, strona 129

	Odzysk ciepła z ECO	Wymaganie regulacyjności	Gwałtowne zmiany obciążenia od strony pary	Koszt inwestycji
Regulacja ciągła z zaworem regulacyjnym	+++++	+++++	++	Średni
Szyna zbiorcza z zaworem regulacyjnym <sup>1)</sup>	+++++	+++++	++	Niewielki
Regulacja ciągła z przetwornikiem częstotl.	++++	+++	++	Niewielki
Regulacja 3-składnikowa z zaworem regulacyjnym	+++++	+++++	+++++	Bardzo wysoki
Regulacja 3-składnikowy z przetwornicą częstotl. przy pompie	++++	+++	+++++	Wysoki
WŁ/WYŁ	Niemożliwy do zastosowania		+	Bardzo mały

**Tab. 10** *Możliwości i korzyści z zastosowania różnych rodzajów regulacji poziomu*

1) Możliwa do stosowania tylko w instalacjach wielokotłowych

### Regulacja ciągła z zaworem regulacyjnym

Regulacja ciągła poziomu zaworem regulacyjnym jest w dalszym ciągu wariantem spotykanym najczęściej, bowiem posiada zalety regulacji szybkiej, niezawodnej i prostej.

→ Produkty – Rozdział 4.10: Moduł regulacji wody zasilającej RM, strona 353

### Szyna zbiorcza z zaworem regulacyjnym

W przypadku układu szyny zbiorczej kilka kotłów parowych jest zasilanych przez jedną pompę zasilającą. Poziom wody w każdym kotle jest regulowany indywidualnie przez zawór regulacyjny na dopływie.

### Regulacja ciągła z przetwornikiem częstotliwości

Dla kotłów o wydajnościach  $\leq 10$  t/h regulacja poziomu przez regulację obrotów pompy zasilającej jest pod względem kosztów zarówno inwestycji jak i eksploatacji wariantem najtańszym.

Ponadto ten rodzaj regulacji poziomu jest wskazany przede wszystkim tam, gdzie kocioł ma być eksploatowany z różnymi ciśnieniami roboczymi (np. z obniżonym ciśnieniem w weekendy), gdyż wówczas regulacja obrotów z dopasowaniem do charakterystyki pompy może w pełni wykorzystać swoje zalety.

Jeśli kocioł jest wyposażony w ekonomizer do odzysku ciepła należy zwrócić uwagę na to, aby zakres regulacji częściowego obciążenia palnika mógł być także objęty minimalnym zakresem regulacji częstotliwości pompy zasilającej, gdyż w przeciwnym razie przy małym obciążeniu spaliny przestaną przepływać przez ekonomizer, a więc nie będzie mógł już również odbywać się odzysk ciepła.





### Regulacja 3-składnikowa

W przypadku gwałtownego wzrostu obciążenia najpierw następuje pozorny wzrost poziomu wody spowodowany spienieniem wody kotłowej, wobec czego ilość wody zasilającej nie zostaje zwiększona mimo, że w tej sytuacji powinno to nastąpić.

Dzięki ciągłemu porównywaniu aktualnie mierzonych ilości pary i wody zasilającej regulacja 3-składnikowa reaguje dużo lepiej na zmiany poziomu.

### Regulacja wł/wył

Sterowanie włączaniem i wyłączaniem pompy zdarza się jeszcze tylko w niektórych wyjątkowych wypadkach i jest stosowane w przypadku kotłów o małej wydajności do ~ 1 t/h.

Koszty inwestycji w regulację ciągłą są w porównaniu z innymi wariantami regulacji stosunkowo niewielkie, a ponieważ przez częste wyłączenia pomp odzysk ciepła w ekonomizerze znacznie się pogarsza, to przy regulacji ciągłej tak dalece obniżają się koszty eksploatacji, że amortyzuje się ona często już nawet po niecałych dwóch miesiącach.

### 2.2.3 Jakość wody

Woda zasilająca zawiera rozpuszczone w niej sole i inne składniki. Skład wody zasilającej zależy od różnych fizycznych i chemicznych metod przygotowania wody, dozowania środków chemicznych wiążących twardość resztkową i tlen resztkowy oraz koniecznej alkalizacji (podniesienia pH w zbiorniku wody zasilającej).

→ Technik – Kapitel 4.1: Przygotowanie wody, Seite 127  
Technika – Rozdział 4.1: Przygotowanie wody, strona 179

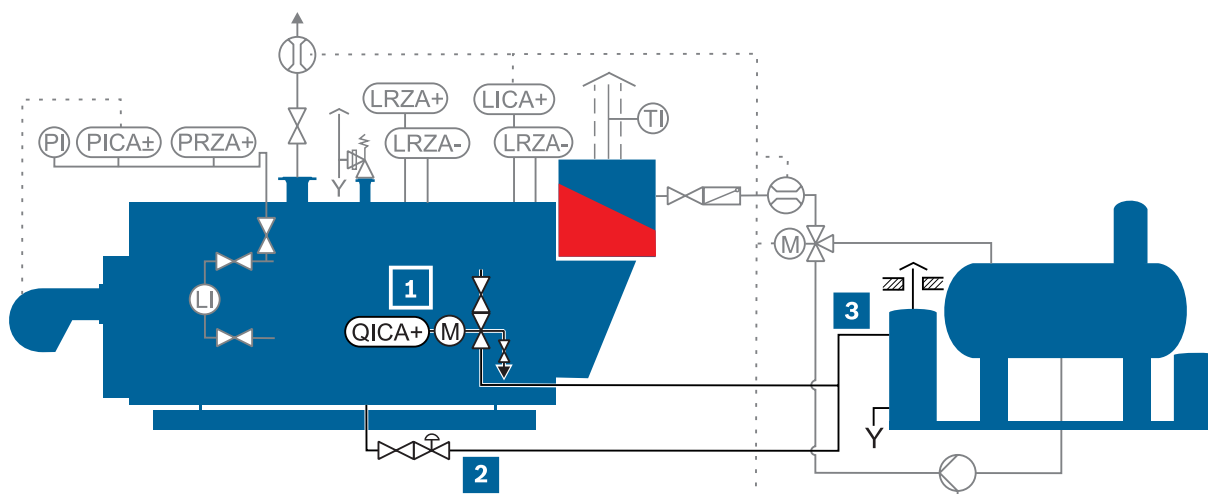
Proces parowania nieustannie zachodzący w kotle parowym podczas jego bieżącej eksploatacji sprawia, że w wodzie kotłowej rośnie stężenie substancji zawartych w wodzie zasilającej. Wzrost stężenia substancji szkodliwych w wodzie kotłowej objawia się przede wszystkim podwyższeniem jej przewodności.

Wyznaczone wartości graniczne nie mogą zostać przekroczone, aby nie wystąpiły negatywne skutki zbyt silnego zasolenia wody kotłowej:

- pienienie wody kotłowej
- porywanie wody do układu parowego
- wahania poziomu wody
- osady w kotle
- korozja w kotle i przewodach rurowych

→ Raport Branżowy FB026: Nowoczesne metody przygotowania i analityki wody

W związku z powyższym z kotła trzeba stale odprowadzać określoną ilość odsolin i odmulin.



Ryc. 47 Regulacja jakości wody kotłowej z odprowadzeniem do rozprężacza odmulin

**QICA+** Przetwornik przewodności

**1** Zawór odsalania

**2** Zawór odmulania

**3** Rozprężacz spustów

### Regulacja przewodności

Przetwornik przewodności (**QICA+**) mierzy przewodność wody kotłowej i zamienia ją w sygnał elektryczny (4 – 20 mA). Sygnał ten jest przetwarzany w sterowaniu kotła BCO. Zmierzona przewodność jest pokazywana na wyświetlaczu w szafie sterowniczej i generowany jest sygnał dla otwarcia automatycznego zaworu odsalania. Dla kontroli wizualnej za zaworem odsalającym na przewodzie odsalania często jest wbudowane szkło wziernikowe (waposkop) z zaworem zwrotnym.

Jakość wody kotłowej ma kluczowe znaczenie dla prawidłowej i bezawaryjnej pracy kotła, musi być więc regularnie sprawdzana i dokumentowana w książce obsługowej kotła.

Energię traconą z gorącymi odsolinami można odzyskać stosując odpowiednią metodę odzysku ciepła.

→ Efektywność – Rozdział 3.1: Odsalanie i odmulanie, strona 279

Przewodność zmierzona w kotle przy temperaturze roboczej jest nieco wyższa z powodu dysocjacji elektrolitycznej. Sonda przewodności dokonuje wewnętrznie konwersji wyników pomiaru do temperatury referencyjnej 25 °C. Skorygowana przewodność jest wyświetlana na wyświetlaczu sterownika kotła.

Oprócz przewodności elektrycznej zawartość kwasu krzemowego ( $\text{SiO}_2$ ) i kwasowość KS 8,2 (wartość p) są ważnymi wielkościami charakteryzującymi jakość wody. Gdy wartość jednego z tych parametrów w wodzie kotłowej osiągnie dopuszczalną wartość graniczną, to parametr ten decyduje o sygnale do rozpoczęcia odsalania. Ponieważ jednak w wodzie kotłowej jest mierzona tylko przewodność, to wartość zadana przewodności w wodzie kotłowej musi być zredukowana na tyle, aby wszystkie wielkości graniczne parametrów wody mogły być dotrzymane.

→ Narzędzia – Rozdział 5.2: Odsalanie i odmulanie, strona 407



## Regulacja odmulania

Szybkozamykający zawór odmulania usuwa szlam i substancje opadające z wody kotłowej na dno walczaka. Zawór jest otwierany na kilka sekund w określonych cyklach. Gwałtowne otwieranie zaworu wytwarza lokalne podciśnienie z efektem ssącym, dzięki któremu usuwany jest na zewnątrz kotła nagromadzony na dnie walczaka szlam i muł (skryształizowane sole opadające z wody kotłowej, wytrącone środki chemiczne z procesu przygotowania wody itd.).

Czas otwarcia zaworu powinien być bardzo krótki i wynosić najwyżej kilka sekund. Dłuższy czas otwarcia zaworu odmulania powoduje tylko straty wody i energii z kotła, a nie polepsza rezultatów odmulania. Odmulanie może być przeprowadzane ręcznie lub, gdy kocioł pracuje bez stałego nadzoru, może odbywać się automatycznie.

Przed szybkozamykającym zaworem odmulania jest zainstalowany ręczny zawór odcinający. Aby wspomóc siłę ssącą i móc odprowadzić parę z parowania wtórnego wody kotłowej, przewód rurowy prowadzący do rozprężacza odmulin bezpośrednio za zaworem powinien mieć przekrój większy o 2 średnice znamionowe. W celu zapobieżenia uderzeniom pary w przewodzie prowadzącym do rozprężacza odmulin należy ułożyć go możliwie bez przewyższeń i w taki sposób, aby nie mogły tworzyć się w nim korki wodne.

W większości kotłów spust wody również odbywa się przez zawór odmulania.

### 2.2.4 Bezpieczeństwo

Bezpieczeństwo instalacji zapewniają w pierwszej kolejności prawidłowa obsługa, właściwa konserwacja i utrzymanie wyposażenia oraz urządzeń regulacyjnych kotła parowego.

Aby zagwarantować pełne bezpieczeństwo, także w sytuacjach gdyby zawiodły urządzenia regulacyjne, każdy kocioł parowy musi być wyposażony w urządzenia ograniczające. Wraz z wyłącznikami awaryjnymi przy szafie sterowniczej i wyjściach awaryjnych tworzą one łańcuch zabezpieczeń kotła, połączony w układzie szeregowym w szafie sterowniczej kotła, tak aby w razie zadziałania któregokolwiek z tych zabezpieczeń natychmiast został wstrzymany ruch kotła.

W sytuacji, gdy zadziała któryś z ograniczników, zostaje wyłączone palenisko i zatrzymany dopływ ciepła do kotła. W przypadku kotłów odzysknicowych następuje przestawienie klap spalin na obejście lub wyłączenie agregatu wytwarzającego ciepło. Tę blokadę można deaktywować tylko ręcznie na miejscu przy kotle.

Ma to na celu zapewnienie, że operator kotła ustalił i usunął przyczynę wystąpienia sytuacji awaryjnej zanim zostanie przywrócony normalny ruch kotła.

### Ogranicznik ciśnienia

Zadziałanie ogranicznika ciśnienia (**PRZA+**) następuje najpóźniej w momencie wzrostu ciśnienia w kotle do 95 % dopuszczalnego maksymalnego ciśnienia roboczego, co skutkuje odcięciem dopływu ciepła do kotła.

### **Zawór bezpieczeństwa**

W razie gdyby zawiódł ogranicznik bezpieczeństwa ciśnienia zawór bezpieczeństwa musi skutecznie uniemożliwić przekroczenie maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia w kotle.

Dla kotłów płomienicowo-płomieniówkowych stosuje się sprężynowe pełnoskokowe zawory bezpieczeństwa bezpośredniego działania, z otwartym kołpakiem.

Po zadziałaniu zaworu bezpieczeństwa ciśnienie w kotle musi spaść do około 10 % poniżej maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia, aby zawór z powrotem zamknął się samoczynnie pod działaniem siły sprężyny. Przewód wydmuchowy zaworu bezpieczeństwa musi być najkrótszą drogą wyprowadzony na zewnątrz.

→ Technika – Rozdział 5.5: Przewód wydmuchowy zaworu bezpieczeństwa, strona 226

### **Ogranicznik niskiego poziomu wody**

Powierzchnie ogrzewalne kotła muszą zawsze być zanurzone w wodzie, aby miały zapewnione dostateczne chłodzenie. Jeżeli poziom wody w kotle opadnie do tak niskiego poziomu, że powierzchnie ogrzewalne kotła zostaną odsłonięte, zachodzi duże niebezpieczeństwo przegrzania i w konsekwencji możliwego zniszczenia kotła.

Aby skutecznie wyeliminować odkrycie powierzchni ogrzewalnych, wewnątrz kotła zainstalowane są dwa atestowane, działające niezależnie od siebie, ograniczniki minimalnego poziomu wody. W kotłach parowych jest zainstalowana elektroda ogranicznika poziomu w rurze osłonowej zapobiegającej niebezpiecznemu dla kotła błędnemu rozpoznaniu poziomu wody w przypadku spienienia lustra wody w kotle.

→ Raport Branżowy FB005: Historia rozwoju ograniczników poziomu wody w kotłach parowych i wodnych

### **Ogranicznik wysokiego poziomu wody**

W kotłach dopuszczonych do 72-godzinnej pracy bez nadzoru jest wymagany dodatkowy ogranicznik maksymalnego poziomu wody, który w razie przekroczenia maksymalnego dopuszczalnego poziomu wody w kotle uniemożliwi przedostanie się wody do przewodów parowych.

### **Ogranicznik przewodności**

W kotłach dopuszczonych do 72-godzinnej pracy bez nadzoru jest również ograniczona maksymalna dopuszczalna przewodność, aby w kotle nie doszło do niekontrolowanego pienienia lustra wody lub wytrącania osadów. Przekroczenia granicznej wartości przewodności także skutkuje wyłączeniem paleniska.

### **Inne urządzenia bezpieczeństwa**

Oprócz ograniczników umieszczonych bezpośrednio na kotle parowym szereg innych zakłóceń w ruchu kotła powoduje wyłączenie paleniska. Dokładne wymagania odnośnie różnych paliw i różnych akcesoriów są określone w normie EN 12953-9.

→ EN 12953-9 Kotły płomienicowo-płomieniówkowe – Część 9: Wymagania dla ograniczników kotła i osprzętu



### Wyłączniki awaryjne

Wyłączniki awaryjne są umieszczone przy wszystkich wyjściach ewakuacyjnych i na szafie sterowniczej kotła. Przyciśnięcie któregoś z wyłączników awaryjnych wyzwala łańcuch zabezpieczeń kotła. Zaleca się zainstalowanie wyłącznika awaryjnego także na zewnątrz pomieszczenia kotłowni.

### Kontrola paleniska – czujnik płomienia

Jeżeli w pracującym palenisku, z otwartym dopływem paliwa, czujnik nie wykryje obecności płomienia w komorze spalania, po kilku sekundach nastąpi wyłączenie awaryjne kotła. To zapobiega nagromadzeniu się niezużytego paliwa w kanale spalinowym tworzącego mieszanek zapalną, która może spowodować gwałtowny zapłon lub nawet wybuch przy późniejszym starcie palnika.

### Kontrola paleniska – dostarczanie paliwa

Sprawdzana jest szczelność zaworu odcinającego gazu oraz minimalne i maksymalne ciśnienie na dopływie paliwa, aby wykluczyć gromadzenie się mieszanki zapalnej w kotle lub kanale spalinowym.

→ Ryc. 59, strona 144

### Kontrola paleniska – zabezpieczenie przed brakiem powietrza

Działanie wentylatora palnika jest kontrolowane przez zabezpieczenie przed brakiem powietrza. Funkcję tę pełni ogranicznik minimalnego ciśnienia powietrza (**PZA**) znajdujący się między wentylatorem i głowicą palnika.

### Pobór pary z kotła

W najwyższym punkcie kotła umieszczony jest króciec poboru pary z zaworem odcinającym. Króćcem tym para nasycona jest odprowadzana z kotła do sieci parowej. Towarzyszy temu hałas wywołany przez płynący z dużą prędkością strumień pary. W celu jego ograniczenia króciec dobiera się tak, żeby prędkość strumienia pary nie przekraczała 40 m/s. Należy przy tym zaznaczyć, że średnicę króćca należy wymiarować pod kątem przewidywanego minimalnego ciśnienia roboczego, ponieważ pod tym ciśnieniem objętość właściwa pary jest największa.

Pod króćcem poboru pary od wewnątrz kotła umieszcza się przegrodę do separacji kropeł wody kotłowej porywanych przez parę. Krople wody pozostają w kotle, jednakże para opuszczająca kocioł nadal zawiera wilgotność resztkową do 3 %. Aby polepszyć jakość pary, można użyć dodatkowego osuszacza pary – separatora siatkowego, który pozwala zredukować zawartość wody w parze do 0,1 %.

→ Technika – Rozdział 4.3.1: Osuszanie pary, strona 194

### 2.2.5 Opcjonalne przyrządy pomiarowe

Dodatkowe przyrządy pomiarowe, np. przepływomierze lub czujniki temperatury, dostarczają dokładniejszych informacji o pracy kotła. Przyrządy te mogą być połączone z regulacją kotła pomagając utrzymać lepszą jakość regulacji. Są też ważnym środkiem pomocniczym dla oceny efektywności pracy kotła. Zbieranie, archiwizowanie i analizowanie tych informacji umożliwia optymalizację eksploatacji kotła po jego uruchomieniu (np. w przypadku zmian w sposobie eksploatacji). Ponadto pozwalają także dopasować eksploatację kotła do wymagań ewentualnego wewnątrzzakładowego systemu zarządzania energią. Najczęściej stosowane metody pomiarowe są opisane w dalszej części rozdziału.

→ Broszura Sterowanie i łączność z systemem nadrzędnym

#### Pomiar przepływu pary

Pomiar strumienia objętościowego pary oddanego do sieci parowej. Razem z pomiarem ciśnienia lub temperatury pary nasyconej bądź ciśnienia i temperatury pary przegrzanej można przeliczać objętość pary na strumień masowy pary i ilość ciepła użytkowego oddaną przez kocioł.

#### Pomiar przepływu wody zasilającej

Pomiar ilości wody zasilającej dostarczonej do kotła.

#### Pomiar przepływu paliwa

Dla każdego kotła jest potrzebny indywidualny pomiar ilości paliwa, aby było możliwe ustawienie maksymalnej dopuszczalnej mocy paleniska podczas uruchomienia.

Pomiar strumieni paliw płynnych odbywa się zawsze indywidualnie dla każdego kotła. Strumień objętościowy paliwa jest mierzony w [l/min] lub [l/h].

W przypadku paliw gazowych pomiar indywidualny dla każdego kotła jest stanowczo zalecany. Z powodu kosztów niejednokrotnie rezygnuje się z takiego rozwiązania, zdejść się na pomiar zużycia energii przez dostawcę gazu w stacji redukcyjno-pomiarowej gazu. Do analiz pomiar roboczego strumienia objętościowego gazu w [ $m_B^3/h$ ] musi być jeszcze przeliczony z uwzględnieniem pomiaru ciśnienia i temperatury na pomiar znormalizowany [ $m_n^3/h$ ].

Wynik pomiaru przepływu wraz ze znaną wartością opałową w [kWh/kg] lub [kWh/l] dla paliw ciekłych i [kWh/ $m_n^3$ ] dla paliw gazowych można przeliczyć na ilość energii dostarczanej do kotła, co będzie stanowić bazę dla obliczenia sprawności lub oszacowania sprawności całorocznej.

#### Pomiar temperatury spalin

Pomiar temperatury spalin jest ważnym wskaźnikiem aktualnych warunków eksploatacji kotła. Ten prosty, niedrogi pomiar wraz z ciągłym monitorowaniem, archiwizowaniem i analizowaniem temperatury spalin pozwala dostrzec wiele możliwości optymalizacji, przyczyny wysokich kosztów eksploatacji kotła czy też ocenić stan zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotła.







 **BOSCH**



Technical specifications and labels on the control cabinet door.





## 3 Komponenty

### 3.1 Spalanie i ogrzewanie

Zadaniem paleniska jest spalanie zawartych w paliwie węgla, wodoru i ewentualnie siarki całkowicie do  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{SO}_2$ . Aby proces spalania był jak najczystszy, w komorze spalania musi znajdować się mieszanka paliwa i powietrza w odpowiednich proporcjach w czasie i przestrzeni.

W kotłach płomienicowo-płomieniówkowych są stosowane prawie wyłącznie paleniska nadciśnieniowe. To oznacza, że wentylator palnika musi wytworzyć nadciśnienie od 5 do  $\leq 50$  mbar na pokonanie oporów kotła i ewentualnie zainstalowanych za nim wymienników ciepła. Stąd w komorze spalania zawsze panuje lekkie nadciśnienie.

→ Informacja Techniczna TI030: Wymagania dla palników dostarczanych na miejscu

#### 3.1.1 Paliwa

Gaz ziemny i olej opałowy są najczęściej stosowanymi paliwami. Każde z tych paliw standardowych ma swoje zalety i wady w biorąc pod uwagę tryb eksploatacji kotła parowego, wymaganą moc czy emisję szkodliwych substancji i nadaje się do różnych zastosowań.

→ Projektowanie – Rozdział 4.3: Kryteria wyboru paliwa: olej opałowy czy gaz ziemny, strona 58

O czystości spalania przede wszystkim decyduje prawidłowy dobór paliwa, palnika i komory spalania.

Oprócz paliw standardowych kotły płomienicowo-płomieniówkowe mogą spalać również inne paliwa gazowe i ciekłe. Opalanie różnymi paliwami może być, w zależności od wybranych paliw, przedsięwzięciem łatwym do zrealizowania albo wymagającym znacznych nakładów. W każdym razie ewentualność stosowania paliw niestandardowych należy dokładnie rozważyć na etapie projektowania, gdyż poza dodatkowymi kosztami inwestycyjnymi bardziej rygorystyczne mogą być także wymagania dotyczące nadzoru i konserwacji.

→ Projektowanie – Rozdział 4.4: Inne paliwa, strona 59

Przykłady niestandardowych paliw ciekłych:

- biodiesel
- tłuszcz zwierzęcy
- olej rzepakowy
- olej sojowy
- olej/tłuszcz palmowy

Przykłady niestandardowych paliw gazowych:

- biogaz
- gaz ziemny bio
- gaz z oczyszczalni ścieków
- gaz ze zgazowania biomasy
- gazy ziemne o wysokiej zawartości wodoru

Paliwa niestandardowe mogą być spalane jako paliwa samodzielne, np. przez palnik dwupaliwowy na gaz ziemny i niestandardowe paliwo ciekłe albo w postaci dodatku do paliwa standardowego (współspalanie), np. gaz ziemny z dodatkiem biogazu.

### 3.1.2 Warianty nadmuchu w systemach palnikowych

#### Palnik monoblokowy



Ryc. 48 Przekrój palnika monoblokowego (Weishaupt)

Palnikami monoblokowymi są nazywane palniki znajdujące się w jednej obudowie z wentylatorem. Palniki monoblokowe mogą spalać olej opałowy, paliwa gazowe i w wariantcie dwupaliwowym dwa rodzaje paliw: gaz i olej. Główną zaletą palników monoblokowych jest ich kompaktowa budowa, dzięki czemu nie zajmują wiele miejsca oraz możliwość zamontowania bezpośrednio na kotle. Mogą być stosowane w kotłach o mocy do 10 MW. Ich konstrukcja nie pozwala jednak na pracę z wstępnym podgrzewaniem powietrza.



## Palniki duoblokowe



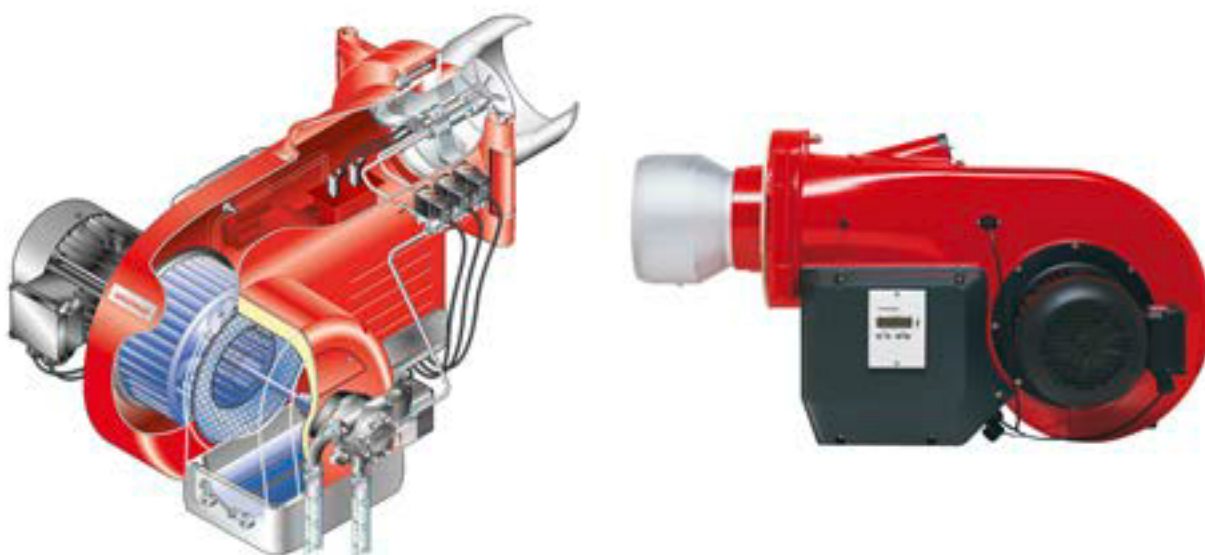
Ryc. 49 Palnik duoblokowy z wentylatorem zabudowanym na szczycie kotła i kanałami powietrza do spalania (Saacke)

Palnikami duoblokowymi nazywa się palniki, w których wentylator (na ilustracji zamontowany na kotle) jest instalowany oddzielnie od korpusu palnika. Wentylator jest połączony z palnikiem kanałem powietrza. Palniki duoblokowe są stosowane szczególnie w kotłach o dużych mocach oraz w układach z systemem wstępnego podgrzewania powietrza.

### 3.1.3 Palniki do spalania paliw ciekłych

W dalszej części są omówione główne elementy palników oraz cechy charakterystyczne poszczególnych typów palników.

#### Rozpylanie ciśnieniowe



Ryc. 50 Przekrój i zdjęcie palnika olejowego (Weishaupt)

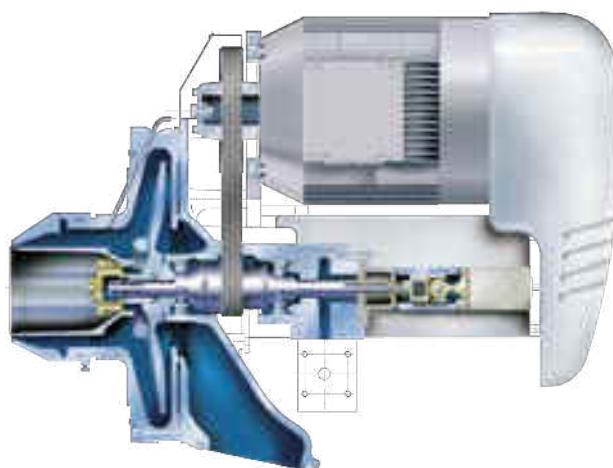


W tym typie olej opałowy jest doprowadzany do dyszy, przez którą jest rozpylany w komorze spalania. Wymagane ciśnienie oleju na wlocie dyszy wynosi 6 – 30 bar. Opuszczając dyszę olej rozpada się na mikrocząsteczki, które tworzą duży przekrój czynny reakcji. Warunkiem jest, aby lepkość paliwa mieściła się w zakresie 5 – 8 mm<sup>2</sup>/s w temperaturze otoczenia. W przeciwnym wypadku olej musi być podgrzany.

Palniki mogą być wyposażone w różne systemy regulacji. Palniki stopniowe posiadają kilka dysz wbudowanych w głowicy. W zależności od wymaganej mocy dysze są załączane przez sterowanie zaworami elektromagnetycznymi. Palniki mogą posiadać maksymalnie trzy dysze.

Płynną zmianę mocy umożliwiają palniki wyposażone w dyszę olejową z obiegiem powrotnym, nazywane modulowanymi. Zawór regulacyjny zainstalowany na powrocie oleju reguluje ilość paliwa dostarczaną do komory spalania. Zawór ten jest sprzężony w automatyce z klapą powietrza do spalania.

### Rozpylanie obrotowe



**Ryc. 51** Przekrój palnika z rozpylaczem obrotowym (Saacke)

Ciekłe paliwo jest podawane za pośrednictwem szybkoobracającego się wydrążonego wału pod niewielkim ciśnieniem na wirujący element w kształcie stożkowego kubka. Pod wpływem sił odśrodkowych olej rozprowadza się po wnętrzu kubka cieniutką warstwą. Warstwa ta wędruje do krawędzi kubka zwróconego w stronę komory spalania. Na krawędzi kubka warstwa oleju odrywa się rozpadając się na mikroskopijne kropelki. Kropelki kierują się do komory spalania wirując pod wpływem pędu nadanego im przez rozpylacz.

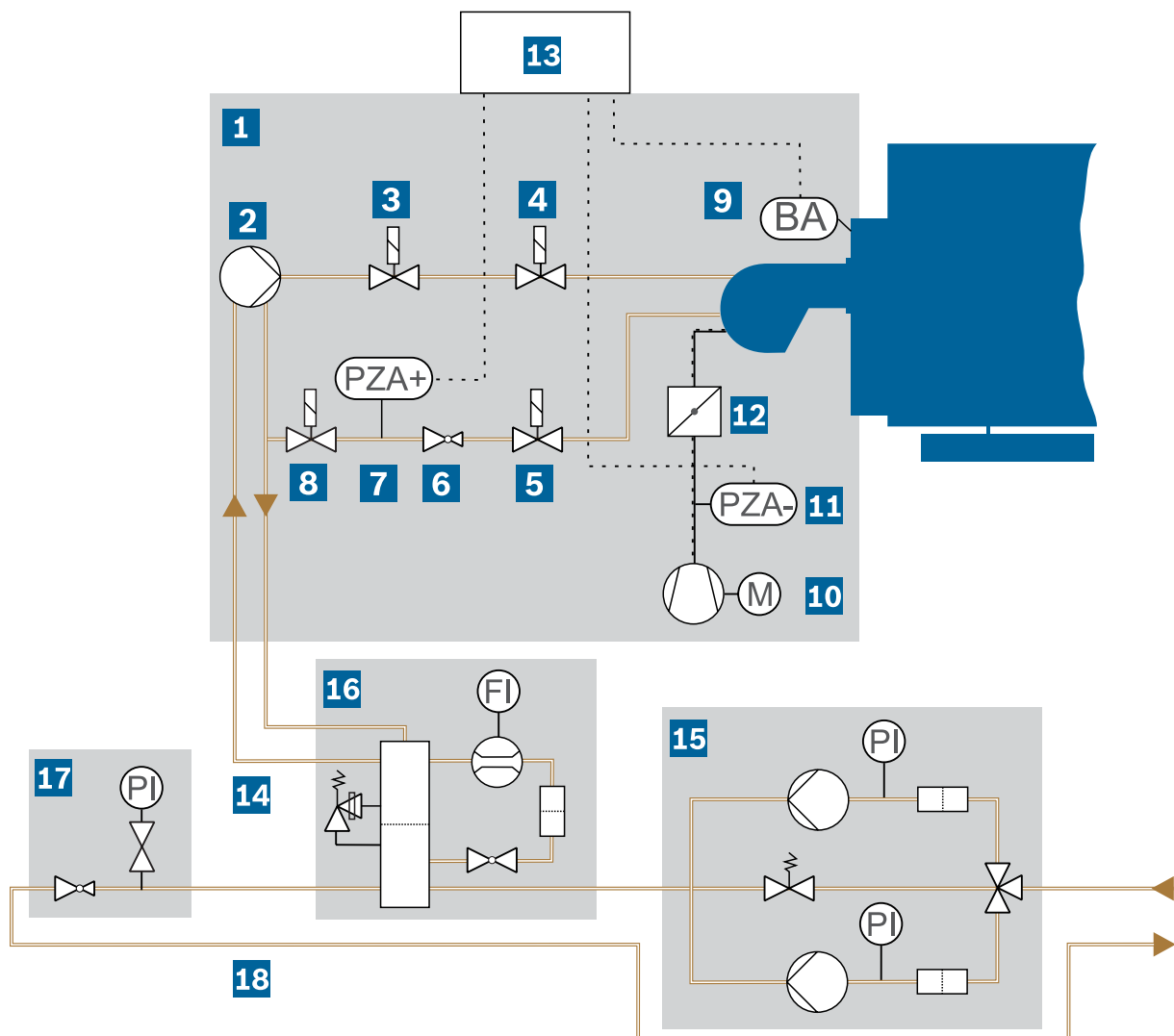
Część powietrza jest podawana do kubka, pozostała część przepływa przez szczeliny wokół kubka wirując w kierunku przeciwnym. Sposób napływu i podział powietrza na częściowe strumienie ma wpływ na strukturę wytwarzanego płomienia. W rezultacie uzyskuje się intensywne mieszanie oleju z powietrzem.

Ogromną zaletą rozpylania obrotowego jest większa niezależność od lepkości paliwa niż w przypadku rozpylania ciśnieniowego. Palniki z rozpylaniem obrotowym mogą spalać również paliwa o zmiennej jakości. Dodatkowa kontrola rotacji kubka zapewnia spalanie bez powstawania tlenku węgla i sadzy.





## Zasilanie olejem



Ryc. 52 Przykładowy schemat instalacji palnika na olej opałowy lekki z rozpylaczem obrotowym

**BA** Czujnik płomienia

**FI** Przepływomierz

**PI** Manometr

**PZA-** Zabezpieczenie przed brakiem powietrza

**PZA+** Ogranicznik ciśnienia maksymalnego

### Instalacja paleniskowa

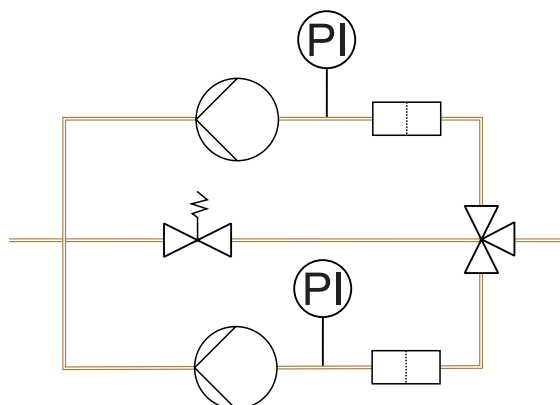
- 1** Palnik
- 2** Pompa oleju do palnika: wytwarza potrzebne do rozpylenia oleju ciśnienie 12 – 30 bar
- 3** Zawór elektromagnetyczny: pierwsze odcięcie zasilania paliwem na zasilaniu olejem
- 4** Zawór elektromagnetyczny: drugie odcięcie zasilania paliwem na zasilaniu olejem
- 5** Zawór elektromagnetyczny: pierwsze odcięcie na powrocie oleju
- 6** Regulator ciśnienia oleju: reguluje ciśn. powrotu oleju do palnika w zależności od aktualnego zapotrzebowania mocy
- 7** Ogranicznik ciśnienia maksymalnego: wyłącza palnik gdy ciśnienie oleju jest za wysokie
- 8** Zawór elektromagnetyczny: drugie odcięcie na powrocie oleju

- 9** Czujnik płomienia: wyłącza palnik, gdy po określonym czasie od rozruchu brak jest stabilnego spalania w komorze spalania
- 10** Wentylator palnika: dostarcza powietrze do spalania
- 11** Zabezpieczenie przed brakiem powietrza: wyłącza palnik jeśli ciśnienie powietrza dostarczanego przez wentylator jest zbyt niskie
- 12** Kłapa powietrza: reguluje stosunek paliwo/powietrze
- 13** Manager palnikowy/łańcuch zabezpieczeń
- 14** Przewód zasilania olejem

### Zasilanie olejem

- 15** Moduł zasilania olejem OSM
- 16** Moduł cyrkulacji oleju OCM
- 17** Moduł regulacji ciśnienia oleju ORM
- 18** Przewód obiegowy oleju / ring olejowy

### Moduł zasilania olejem OSM



Ryc. 53 Moduł zasilania olejem

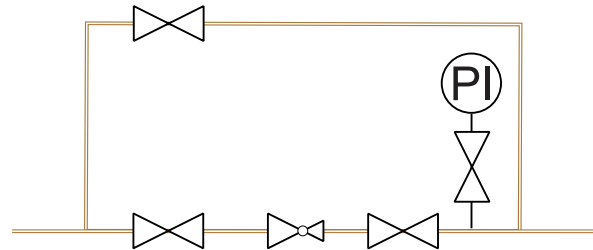
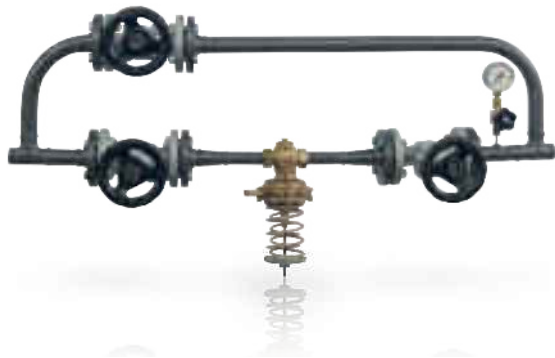
**PI** Manometer

Moduł zasilania olejem tłoczy paliwo z zewnętrznego zbiornika oleju przewodem obiegowym/ringiem olejowym do poszczególnych modułów cyrkulacji oleju zasilających indywidualnie każdy z zainstalowanych palników.

Moduły montuje się w fabryce w pojedyncze lub podwójne stacje ze 100 % rezerwą zapewniającą bezpieczeństwo zasilania, także na czas wymiany filtrów oleju, ze wszystkimi niezbędnymi armaturami, w wannach olejowych w celu maksymalnego uproszczenia zabudowy modułów w ringu olejowym.



## Moduł regulacji ciśnienia oleju ORM

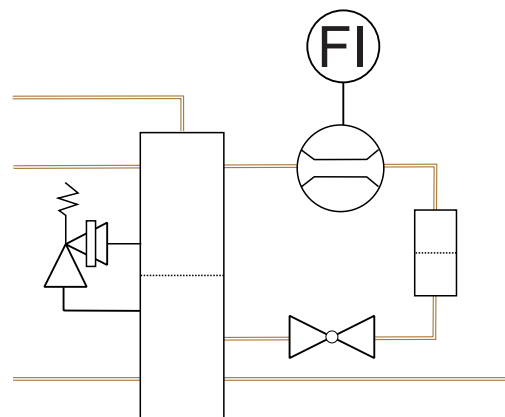


Ryc. 54 Moduł regulacji ciśnienia oleju

### PI Manometr

Moduł regulacji ciśnienia oleju służy do utrzymania stałego ciśnienia oleju na zasilaniu przewodu obiegowego/ ringu olejowego. Składa się z regulatora ciśnienia oleju, zainstalowanych przed i za nim zaworów odcinających umożliwiającą wymontowanie regulatora ciśnienia oleju, manometru (PI) i armatury obejściowej. Moduł instaluje się zawsze za ostatnim przewodem zasilania olejem palnika.

## Moduł cyrkulacji oleju OCM



Ryc. 55 Moduł obiegu oleju

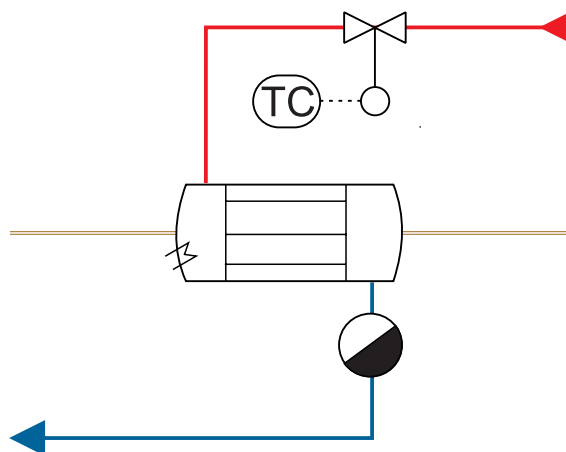
### FI Przepływomierz oleju

Moduł cyrkulacji oleju ma za zadanie filtrację paliwa płynnego i odseparowanie zawartego w nim powietrza oraz pomiar przepływu objętościowego oleju. Przeznaczony do palników na olej opałowy lekki i ciężki z rozpylaniem obrotowym oraz palników wyposażonych w dyszę olejową z obiegiem powrotnym. Wykonany jako gotowy moduł do montażu w układach cyrkulacyjnych oleju o ciśnieniu zasilania  $\geq 1,5$  bar, zamontowany na ramie nośnej i zamknięty pokrywą ochronną.

W obrębie modułu znajduje się dwukomorowy zbiornik oleju do bezpośredniego zasilania olejem palnika i odbioru oleju powracającego z palnika. Przewody mogą być podpięte bezpośrednio do przewodów olejowych palnika.

Moduł jest wyposażony w filtr, przepływomierz oleju (**FI**), zawory odcinające, ogranicznik ciśnienia, odpowietrznik i zatyczki do spustu. Do pracy na oleju ciężkim posiada dodatkowo izolację pod metalową okładziną.

### Moduł podgrzewania oleju OPM



Ryc. 56 Moduł podgrzewania oleju

#### TC Regulator temperatury

Przy stosowaniu jako paliwa oleju średniego i ciężkiego konieczne jest podgrzanie oleju, ponieważ paliwa te w temperaturze otoczenia nie są wystarczająco płynne, by nadawać się do rozpylenia w palniku. Olej musi być najpierw podgrzany, by zmniejszył swoją lepkość. W zależności od palnika i paliwa olej może wymagać podgrzania do temperatury 100 – 180 °C, aby było zapewnione jego dobre spalanie.

Podgrzewanie oleju odbywa się w wymienniku ciepła z wysuwającym pęczkiem rur, który może być, w zależności od wyboru, ogrzewany parowo albo parowo/elektrycznie. Należy tu zwrócić uwagę na to, aby wszystkie przewody rurowe i armatury były także wyposażone w ogrzewanie. Przy rozruchu olej jest najpierw podgrzewany elektrycznie, a później, już podczas normalnej pracy instalacji, regulator temperatury (**TC**) utrzymuje stałą jego temperaturę. Moduł jest fabrycznie zmontowany, z regulacją ogrzewania, izolacją cieplną i kompletną armaturą i gotowy do podłączenia.



### 3.1.4 Palniki do spalania paliw gazowych

Gaz ziemny jest dzisiaj dostępny w większości miejsc i zwykle tańszy od oleju. Nie dziwi zatem fakt, iż w ostatnich latach palniki gazowe zyskują coraz większą popularność.

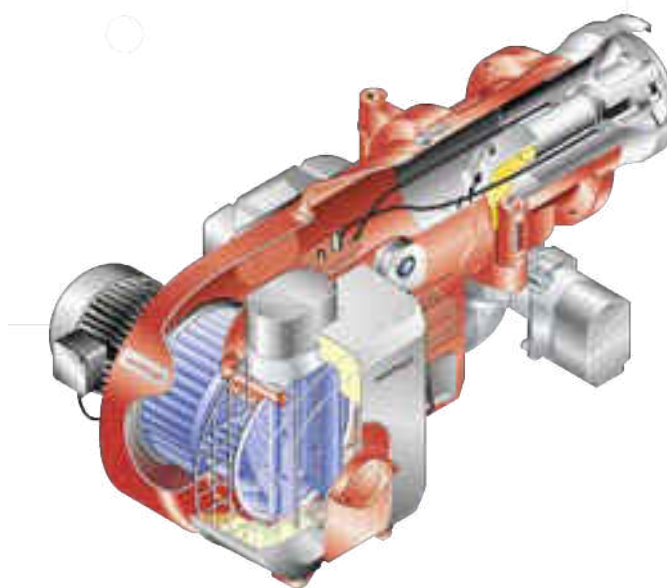
→ Projektowanie – Rozdział 4.3: Kryteria wyboru paliwa: olej opałowy czy gaz ziemny, strona 58

Oprócz korzystniejszej ceny gaz ma szereg innych zalet:

- nie wymaga magazynowania w zbiornikach,
- spalanie gazu pozostawia mniej zanieczyszczeń na powierzchniach ogrzewalnych kotła,
- rzadsze są awarie z udziałem gazu,
- niższe emisje  $\text{NO}_x$  i  $\text{CO}_2$
- umożliwia lepsze wykorzystanie ciepła kondensacji.

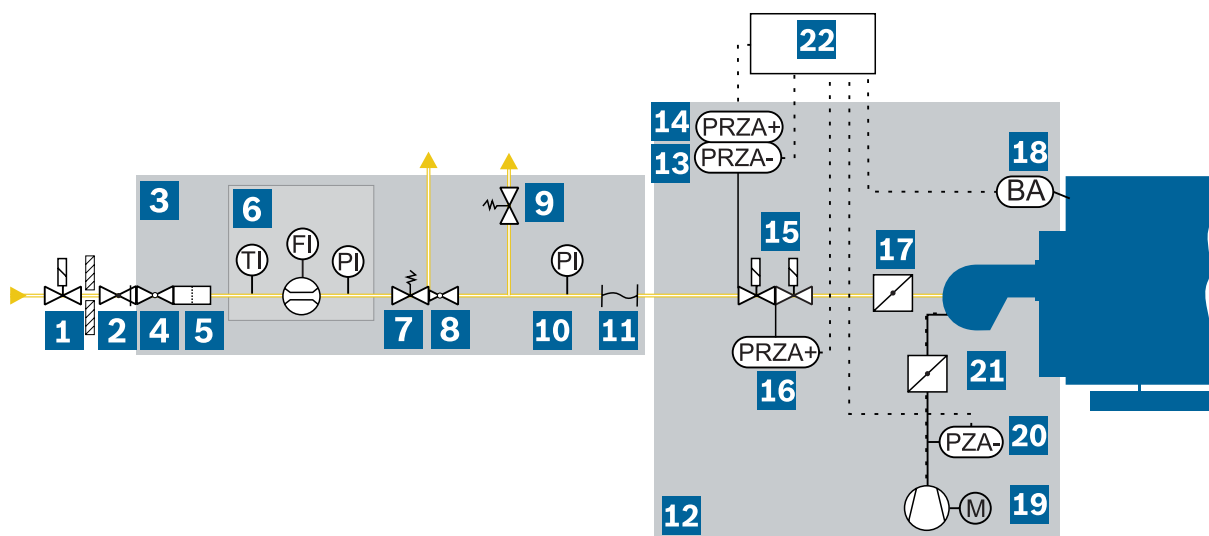


Ryc. 57 Palnik gazowy monoblokowy (Dreizler)



Ryc. 58 Przekrój palnika gazowego (Weishaupt)

## Zasilanie gazem



Ryc. 59 Przykładowy schemat instalacji palnika gazowego (wysokociśnieniowego)

## Zasilanie gazem

- |                                                    |                                                      |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>BA</b> Czujnik płomienia                        | <b>PRZA-</b> Ogranicznik minimalnego ciśnienia gazu  |
| <b>FI</b> Przepływomierz gazu                      | <b>PRZA+</b> Ogranicznik maksymalnego ciśnienia gazu |
| <b>PI</b> Manometr                                 | <b>TI</b> Wskaźnik temperatury                       |
| Urządzenie zabezpieczające przed brakiem powietrza |                                                      |
| <b>PZA-</b>                                        |                                                      |

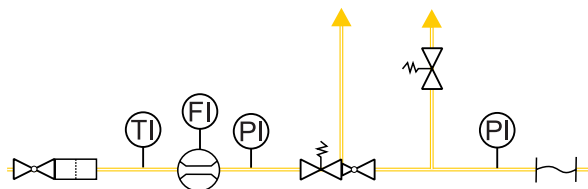
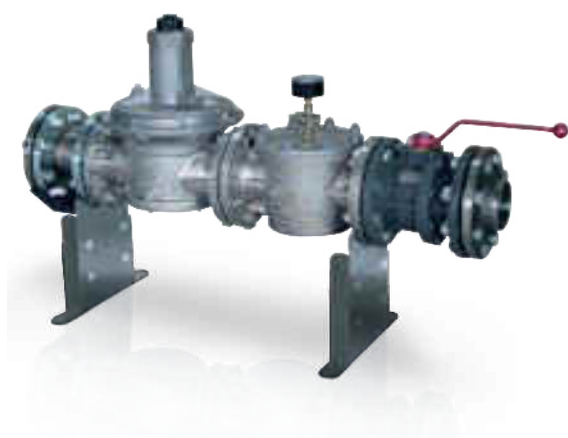
- 1** Zawór odcinający bezpieczeństwa: odcina dopływ gazu w razie usterki i wyłączenia awaryjnego (umieszczony na zewnątrz pomieszczenia kotłowni)
  - 2** Bezpiecznik termiczny: odcina dopływ gazu w razie pożaru w kotłowni
  - 3** Moduł regulacji gazu
  - 4** Ręczny zawór odcinający
  - 5** Filtr gazu: chroni wrażliwe części przed zanieczyszczeniami
  - 6** Moduł gazomierza: gazomierz z pomiarem temperatury i ciśnienia do przeliczania strumienia objętościowego z m<sup>3</sup>/h w warunkach roboczych na m<sup>3</sup>/h w warunkach normalnych
  - 7** Zawór odcinający bezpieczeństwa: wstrzymuje dopływ gazu przy niedopuszczalnym wzroście ciśnienia gazu
  - 8** Regulator ciśnienia gazu: zapewnia stałe ciśnienie gazu do spalania
  - 9** Zawór upustowy gazu: otwiera się przy wystąpieniu niedopuszczalnego nadciśnienia za regulatorem ciśn. gazu
  - 10** Manometr (**PI**)
  - 11** Kompensator: kompensacja rozszerzalności rur
- Palenisko**
- 12** Palnik
  - 13** Ogranicznik minimalnego ciśnienia gazu (**PRZA-**): wyłącza palnik gdy ciśnienie gazu jest za niskie
  - 14** Ogranicznik maksymalnego ciśnienia gazu (**PRZA+**): wyłącza palnik gdy ciśnienie gazu jest za wysokie
  - 15** Podwójny zawór elektromagnetyczny: podwójne odcinanie dopływu gazu gdy palnik nie pracuje
  - 16** Kontrola szczelności (**PRZA+**): kontrola szczelności zaworów elektromagnetycznych
  - 17** Kłapa regulacyjna gazu: reguluje ilość gazu





- 18** Czujnik płomienia (**BA**): wyłącza palnik gdy w określonym czasie od rozruchu brak jest stabilnego spalania w palenisku
- 19** Wentylator: dostarcza powietrze do spalania
- 20** Zabezpieczenie przed brakiem powietrza (**PZA-**): wyłącza palnik gdy ciśnienie powietrza dostarczanego przez wentylator jest zbyt niskie
- 21** Kłapa powietrza: reguluje reguluje stosunek paliwo/powietrze
- 22** Manager palnikowy/łańcuch zabezpieczeń

### Moduł regulacji gazu GRM



Ryc. 60 Moduł regulacji gazu

- FI** Przepływomierz
- PI** Manometr
- TI** Wskaźnik temperatury

Moduł regulacji gazu zawiera wszystkie regulatory i urządzenia bezpieczeństwa niezbędne do bezpiecznego i niezakłóconego spalania. Przepływ gazu i powietrza są regulowane przez elektroniczny lub pneumatyczny układ regulacji z zachowaniem prawidłowego stosunku składników mieszanki paliwo-powietrze dla zapewnienia całkowitego, bezpiecznego i efektywnego spalania w całym zakresie obciążenia palnika.

Wbudowany regulator gazu zapewnia stałe ciśnienie gazu przed palnikiem niezależnie od poziomu ciśnienia wejściowego i strumienia przepływającego gazu. Przy zmiennym ciśnieniu gazu zmieniałyby się również stosunek składników mieszanki paliwo-powietrze, co spowodowałoby niestabilność płomienia albo spalanie z dużą ilością tlenku węgla i sadzy. Jeżeli ciśnienie wejściowe gazu może być większe niż dopuszczalne ciśnienie robocze komponentów ścieżki gazowej, to przed regulatorem muszą być zainstalowane odcinający zawór bezpieczeństwa (SAV) i zawór upustowy gazu (SBV).

Czujniki ciśnienia kontrolują minimalne i maksymalne dopuszczalne ciśnienie gazu, gdyby regulator ciśnienia gazu przestał działać. Podczas przestoju oraz przewietrzania przed zapłonem palnika gaz nie może być obecny w komorze spalania, w przeciwnym razie mógłby nastąpić wybuch. Dlatego zawory elektromagnetyczne w rampie gazowej muszą być szczelne. Ze względów bezpieczeństwa instaluje się podwójne zawory elektromagnetyczne, a w ramach sekwencji startowej palnika sprawdza przed każdym zapłonem palnika, czy zawory są szczelne (kontrola szczelności).

### 3.1.5 Kotły ogrzewane ciepłem odpadowym

Ciepło zawarte w gorących spalinach pochodzących z wcześniejszych procesów, np. generacji energii elektrycznej i odzysku ciepła z użyciem modułu kogeneracyjnego lub turbiny gazowej, przemysłowych procesów metalurgicznych czy termicznego przetwarzania odpadów nadaje się do ogrzewania kotłów płomienicowo-płomieniówkowych..

→ Efektywność – Rozdział 5.1: Kombinowanie procesów, strona 305

Wydajność wytwarzania pary przez kocioł opalany spalinami jest determinowana przez trzy główne czynniki:

- **temperaturę wykorzystywanych spalin**

Im wyższa temperatura spalin, tym większa możliwa do uzyskania wydajność wytwarzania pary. Temperatura spalin wylotowych z mikroturbin gazowych może sięgać 300 °C, z silników 360 – 550 °C, z procesów przemysłowych takich jak wytopianie czy kucie lub z termicznego przetwarzania odpadów 1000 °C.

- **ilość spalin i czas, w jakim spaliny są dostępne**

Istotną kwestią jest, czy spaliny są dostępne stale, czy tylko o określonych porach. Poza tym ważna jest ilość spalin.

Dla porównania, generacja energii elektrycznej i odzysk ciepła z użyciem turbiny gazowej, ze względu na spalanie z dużym nadmiarem powietrza, może dostarczyć nawet 5 razy więcej spalin od silnika spalinowego tej samej mocy elektrycznej.

- **ciśnienie, jakie ma mieć para wytwarzana z użyciem spalin**

Im wyższe musi być ciśnienie, a więc i temperatura pary nasyconej w kotle, tym mniejszy jest gradient temperatury wykorzystany do przeniesienia ciepła od spalin do pary. Przy temperaturze spalin  $\leq 330$  °C najlepiej nadaje się ciśnienie robocze  $< 5$  bar. Przy wyższych temperaturach spalin może być wytwarzana para o odpowiednio wyższym ciśnieniu.

Wybierając kocioł należy wziąć pod uwagę dalsze parametry brzegowe, takie jak zawartość siarki, zawartość substancji stałych i działających korozyjnie (np. chloru) w spalinach.

Ze względu na wielość możliwych rodzajów spalin/ciepła odpadowego zawsze zaleca się tu sporządzenie szczegółowego opracowania technicznego we wstępnej fazie projektu instalacji z kotłem odzysknicowym, aby uzyskać optymalne wykorzystanie ciepła odpadowego.



Ryc. 61 Moduł kogeneracyjny z 4-ciągowym kotłem odzysknicowym



## 3.2 System utrzymania kotła w gorącej rezerwie

Gdy para jest niepotrzebna w krótkich okresach czasu, np. w weekendy lub podczas nocnych przestojów produkcji, kocioł może na ten czas przechodzić w tryb gorącej rezerwy. W trybie gorącej rezerwy ciśnienie w kotle zostaje obniżone, wobec czego niższa jest też temperatura czynnika wewnątrz, co pozwala zmniejszyć straty postojowe ciepła.

→ Informacja techniczna TI019: Systemy gorącej rezerwy kotłów parowych

System gorącej rezerwy kotła niesie ze sobą trzy zasadnicze korzyści:

- błyskawiczny powrót kotła do pełnej dyspozycyjności w ciągu kilku minut,
- zapobieżenie przenikaniu tlenu z zewnątrz, a więc korozji postojowej,
- uniknięcie największych obciążeń mechanicznych dla kotła związanych z rozruchem ze stanu zimnego.

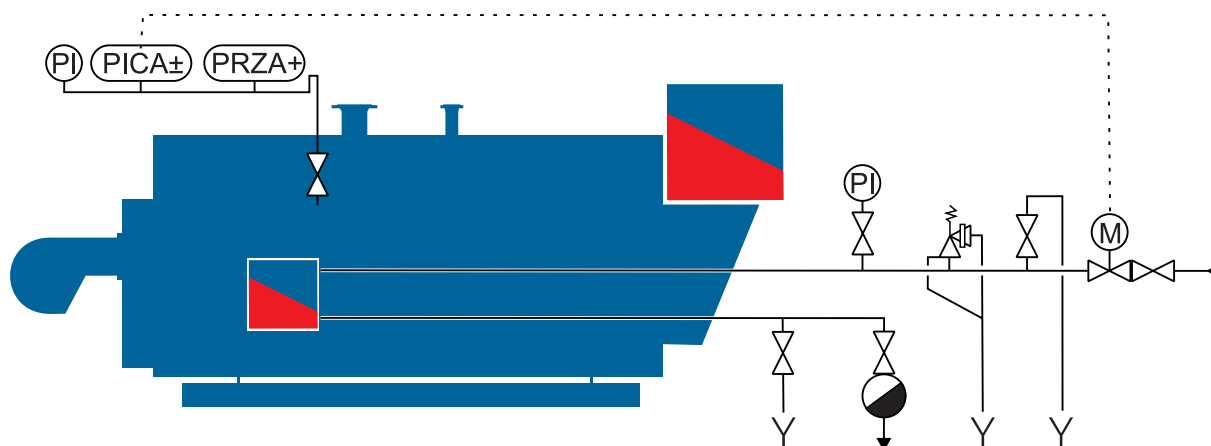


**Ryc. 62** Wężownica służąca do utrzymywania kotła w gorącej rezerwie zabudowana w dolnej części kotła

### Utrzymanie kotła w gorącej rezerwie przy użyciu wężownicy

W instalacjach wielokotłowych lub takich, w których para nasycona pochodzi z zewnętrznej sieci parowej do, utrzymanie kotła w gorącej rezerwie jest realizowane przez wężownicę grzejną wbudowaną w spód kotła. Utrzymanie kotła w gorącej rezerwie może być regulowane do ciśnienia zadanego na sterowniku za pomocą sterowanych zaworów na doprowadzeniu pary albo też pozostać nieregulowane.

Szczególną zaletą tego rozwiązania jest równomierny rozkład temperatury w kotle bez rozwarstwień. Dzięki temu naprężenia cieplne przy przejściu z gorącej rezerwy w tryb normalny są o wiele mniejsze.



Ryc. 63 Utrzymanie kotła w gorącej rezerwie przy użyciu wężownicy

- PI** Wskaźnik ciśnienia (manometr)
- PICA±** Przetwornik ciśnienia
- PRZA+** Ogranicznik ciśnienia

### Utrzymanie kotła w gorącej rezerwie przy użyciu palnika

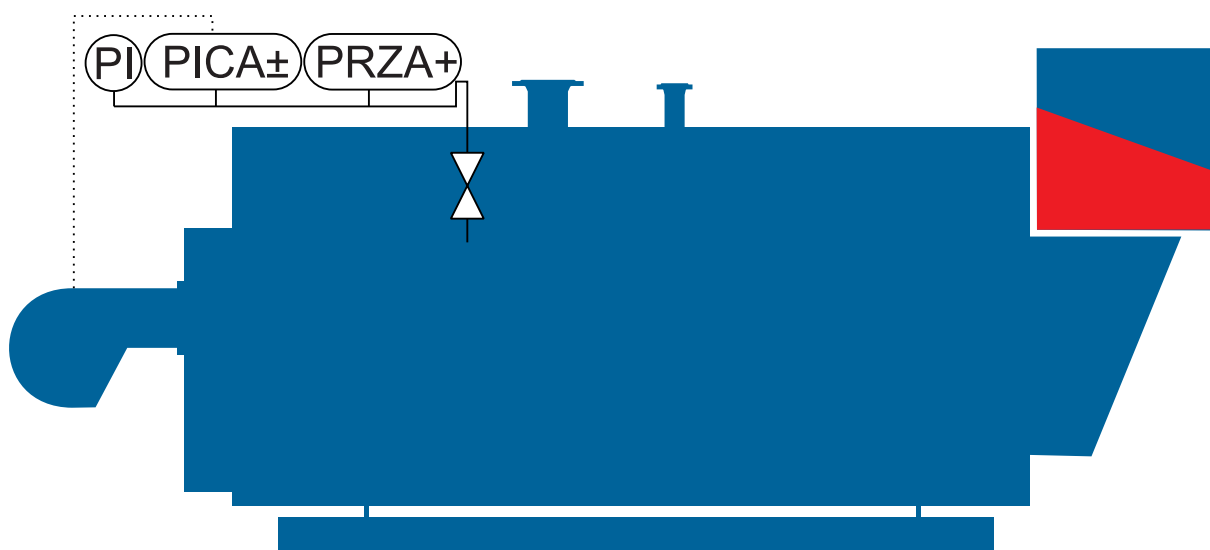
Kotły pojedyncze i kotły wodące w instalacjach wielokotłowych, dla których nie ma pary z sieci, muszą być utrzymywane w gorącej rezerwie przez własne palniki.

Moc cieplna palnika w trybie gorącej rezerwy musi wystarczyć tylko do wyrównania strat ciepła instalacji, zatem regulacja mocy palnika jest ustawiona na minimalne obciążenie. Gdy instalacja posiada dobrą izolację palnik włącza się tylko raz na kilka godzin. Często kocioł w trybie gorącej rezerwy jest utrzymywany na poziomie 50% średniego ciśnienia roboczego tak aby późniejsze osiągnięcie ciśnienia w trybie normalnym było bardzo szybkie.

Z gorącą rezerwą przy użyciu palnika wiążą się jednak niestety wszystkie wady częstego włączania i wyłączania palnika, a więc straty ciepła wskutek przewietrzania komory spalania przed każdym startem palnika, szybsze zużycie podzespołów itd.

→ Efektywność – Rozdział 2.2.4: Przewietrzanie przed zapłonem palnika, strona 275

Ponadto jeśli utrzymywanie kotła w gorącej rezerwie bez odbioru pary trwa przez dłuższy czas (kilka dni) w kotle zaczyna pojawiać się warstwowy rozkład temperatury, co powoduje dodatkowe obciążenia mechaniczne i termiczne przy kolejnym zapłonie palnika.



**Ryc. 64** Utrzymanie kotła w gorącej rezerwie przy użyciu palnika

**PI** Wskaźnik ciśnienia (manometr)

**PICA±** Przetwornik ciśnienia

**PRZA+** Ogranicznik ciśnienia maksymalnego

### 3.3 Ekonomizer

Ekonomizery, inaczej wymienniki ciepła spalin, stały się już standardowym elementem wyposażenia kotłowni parowej. Mogą być stosowane w niemal każdej instalacji kotłowej.

Koszt inwestycji w ekonomizer zabudowany na kotle może sięgać 7 – 15 % ceny kotła. Z drugiej jednak strony, ekonomizer może zwiększyć sprawność instalacji nawet o 7 % i zazwyczaj koszt jego zakupu amortyzuje się już po kilku miesiącach eksploatacji.

→ Efektywność – Rozdział 2.1: Temperatura spalin i strata kominowa, strona 263

Spaliny wylotowe z kotła parowego mają temperaturę 200 – 280 °C. Ten potencjał wykorzystują wysoce wydajne ekonomizery do suchego odzysku ciepła ze spalin. Ciepło odebrane spalinom najczęściej służy do podgrzewania wody zasilającej, zwiększając tym samym sprawność kotła.

Dalsze zwiększenie sprawności przynoszą ekonomizery kondensacyjne, systemy wstępnego podgrzewu powietrza do spalania czy chłodnice wody zasilającej.

→ Efektywność – Rozdział 2.1.2: Ekonomizer kondensacyjny, strona 265

→ Efektywność – Rozdział 2.1.3: Podgrzewacz powietrza, strona 267

→ Efektywność – Rozdział 2.1.4: Chłodnica wody zasilającej, strona 269

Ekonomizery występują w różnych wariantach konstrukcyjnych, co umożliwia optymalizację ich doboru dla indywidualnych potrzeb każdego zakładu.

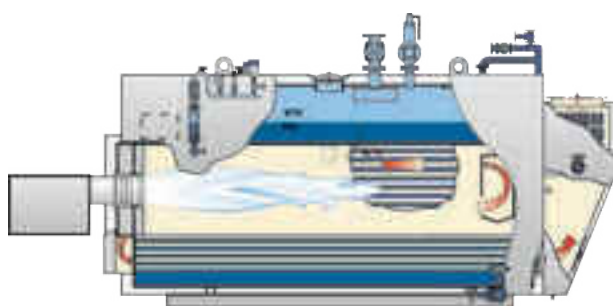




## Ekonomizer zintegrowany

Szczególne korzyści dla nowobudowanych instalacji kotłowych oferuje ekonomizer zabudowany bezpośrednio w kotle i całkowicie z nim zintegrowany. Dostępny w różnych wielkościach, specjalnie skonstruowany wymiennik ciepła z wysoce wydajnych rur żebrowanych stanowi składową część kotła. Ekonomizer jest zintegrowany na komorze zbiorczej spalin, zaizolowany i połączony bezpośrednio z przestrzenią wodną kotła. Zintegrowane ekonomizery są oferowane dla typoszeregu kotłów CSB, U-MB, UL-S, ZFR i HRSB.

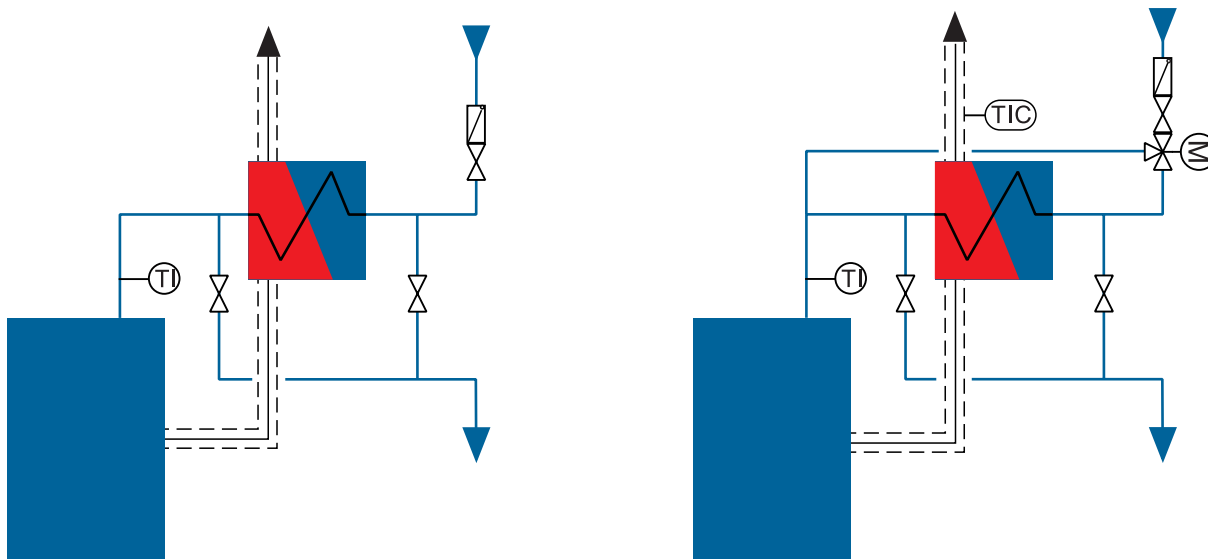
Zintegrowany ekonomizer prezentuje szereg zalet w porównaniu z tradycyjnym kotłem z oddzielnym ekonomizerem.



Ryc. 65 Ekonomizer zintegrowany z kotłem UL-S

### Korzyści:

- Wysoce wydajny system rur spiralnie żebrowanych przystosowany do pracy na gazie i oleju lekkim
- Ekonomizer zabudowany bezpośrednio na komorze zbiorczej spalin kotła
- Przyrost sprawności do 7 punktów procentowych
- Kompletnie zmontowany, gotowy do podłączenia z kompletnym orurowaniem, sprawdzony ciśnieniowo i zaizolowany cieplnie
- Niewielkie gabaryty
- Niepotrzebny dodatkowy fundament
- Nie wymaga montażu na miejscu



**Ryc. 66** *Ekonomizer nieodcinany, nieregulowany (z lewej) i ekonomizer nieodcinany, regulowany od strony wody (z prawej)*

**TI** Wskaźnik temperatury

**TIC** Regulator temperatury

**M** Silnik

W wariantcie nieregulowanym spaliny zawsze przepływają całowicie przez rury wymiennika ciepła, aby na każdym obciążeniu był uzyskany maksymalny odzysk energii ze spalin. Ten wariant nie tylko ma najwyższą sprawność, ale jest też najtańszy i dlatego najchętniej stosowany.

→ Ryc. 66, strona 152, z lewej

Aby uniknąć zbyt dużego obniżenia temperatury spalin za ekonomizerem, gdy na przykład są wymagania co do minimalnej temperatury spalin w kominie murowanym, stosuje się wariant z regulacją od strony wody. W ekonomizerze tego typu część lub całość strumienia wody zasilającej jest kierowana z pominięciem ekonomizera, dopóki temperatura spalin za ekonomizerem nie osiągnie nastawionej wartości.

→ Ryc. 66, strona 152, z prawej



### Ekonomizer wolnostojący

Ekonomizery wolnostojące mogą być ustawiane oddzielnie od kotła i z tego względu są głównie brane pod uwagę przy modernizacjach starszych kotłowni. Poza tym są stosowane również w sytuacjach, gdy jest wymagana czasowa praca ekonomizera z obejściem spalin, co ma miejsce w przypadku palników dwupaliwowych, gdy jedno z paliw jest mocno zaszarczone (np. olej ciężki).

W dolnej części ekonomizera są wprowadzane spaliny, które przepływają przez wymiennik ciepła umieszczony w górnej części i w ten sposób jest z nich odzyskiwane ciepło. Obejście spalin wraz z klapą spalin z napędem silnikowym, orurowanie przyłączy i armatury są kompletnie zmontowane i wraz z izolacją cieplną wchodzi w zakres dostawy. Ekonomizer wolnostojący, wyposażony w specjalną rurę podwójnie żebrowaną ułatwiającą czyszczenie powierzchni wymiany ciepła jest także przystosowany do pracy na oleju ciężkim i innych paliwach o większej tendencji do zanieczyszczania.

Ekonomizer wolnostojący może być stosowany ze wszystkimi kotłami z typoszeregu U-MB, UL-S, ZFR, HRSB, a także kotłami innych producentów.



**Ryc. 67** Ekonomizer wolnostojący w połączeniu z palnikiem dwupaliwowym (gaz/olej ciężki)

### 3.4 Ekonomizer kondensacyjny

W wymienniku ciepła spaliny ulegają skropleniu oddając nie tylko bezpośrednio związane z temperaturą ciepło jawne, ale także częściowo zawarte w parze wodnej ciepło kondensacji (ciepło utajone).

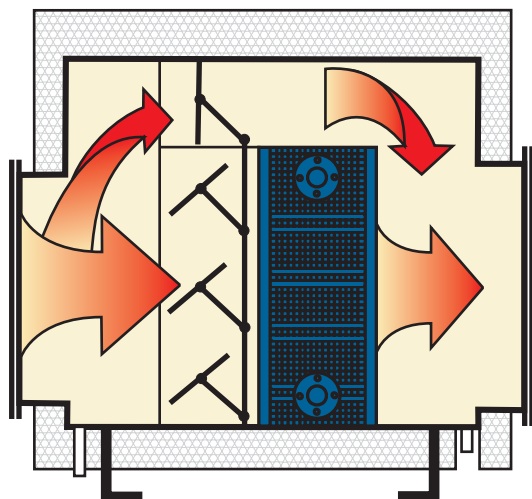
→ Technika – Rozdział 1.3: Entalpia, strona 112

W procesie skroplenienia spalin powstaje kwaśny kondensat, który musi być zneutralizowany. Dlatego wymienniki ciepła tego typu, a także połączone do nich przewody spalinowe i kominy muszą być wykonane z materiałów odpornych na korozję.

→ Technika – Rozdział 4.2.2: Zrzut ścieków – kondensat spalinowy, strona 194

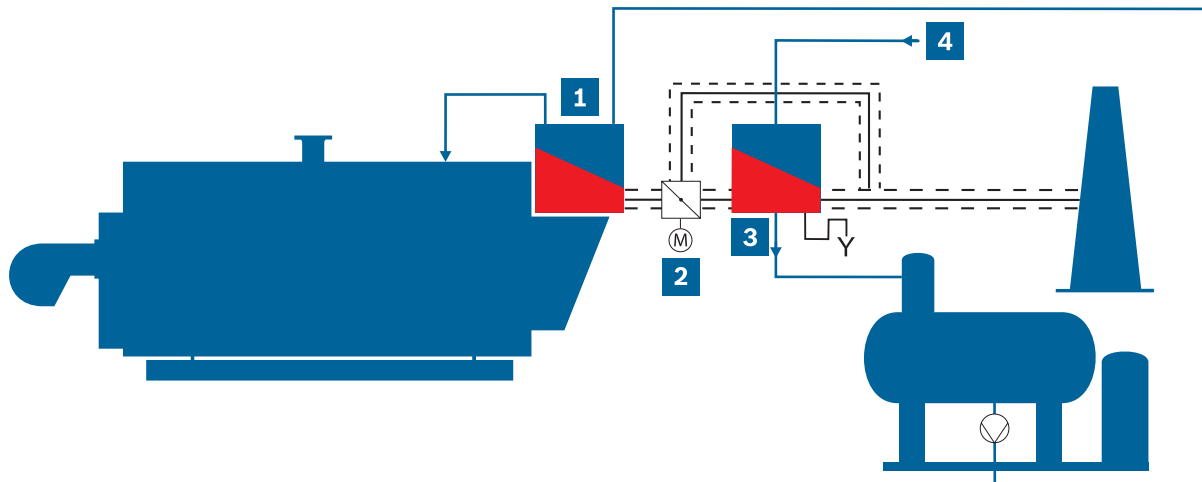
Wolnostojące kondensacyjne wymienniki ciepła wykonane są ze stali nierdzewnej i zmontowane w gotowe moduły. Mogą być stosowane zarówno w nowych instalacjach jak i przy modernizacjach starszych kotłowni..

→ Efektywność – Rozdział 2.1.2: Ekonomizer kondensacyjny, strona 265



Ryc. 68 Ekonomizer kondensacyjny





Ryc. 69 Uproszczony schemat kotłowni parowej z ekonomizerem zintegrowanym i zainstalowanym za kotłem ekonomizerem kondensacyjnym

- |                                           |                                                     |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>1</b> Zintegrowany ekonomizer (stal)   | <b>3</b> Ekonomizer kondensacyjny (stal szlachetna) |
| <b>2</b> Kłapa obejścia spalin (by-passu) | <b>4</b> Woda uzupełniająca                         |

→ Raport Branżowy FB023: Technika kondensacyjna

### 3.5 Podgrzewacz powietrza

W podgrzewaczu powietrza gorąca woda zasilająca oddaje ciepło powietrzu do spalania a schłodzony w ten sposób strumień wody może być wykorzystany w dodatkowym pęczku ekonomizera do dalszego obniżenia temperatury spalin. W rezultacie daje to przyrost sprawności o 2 punkty procentowe i temperaturę spalin niższą o około 40 K.

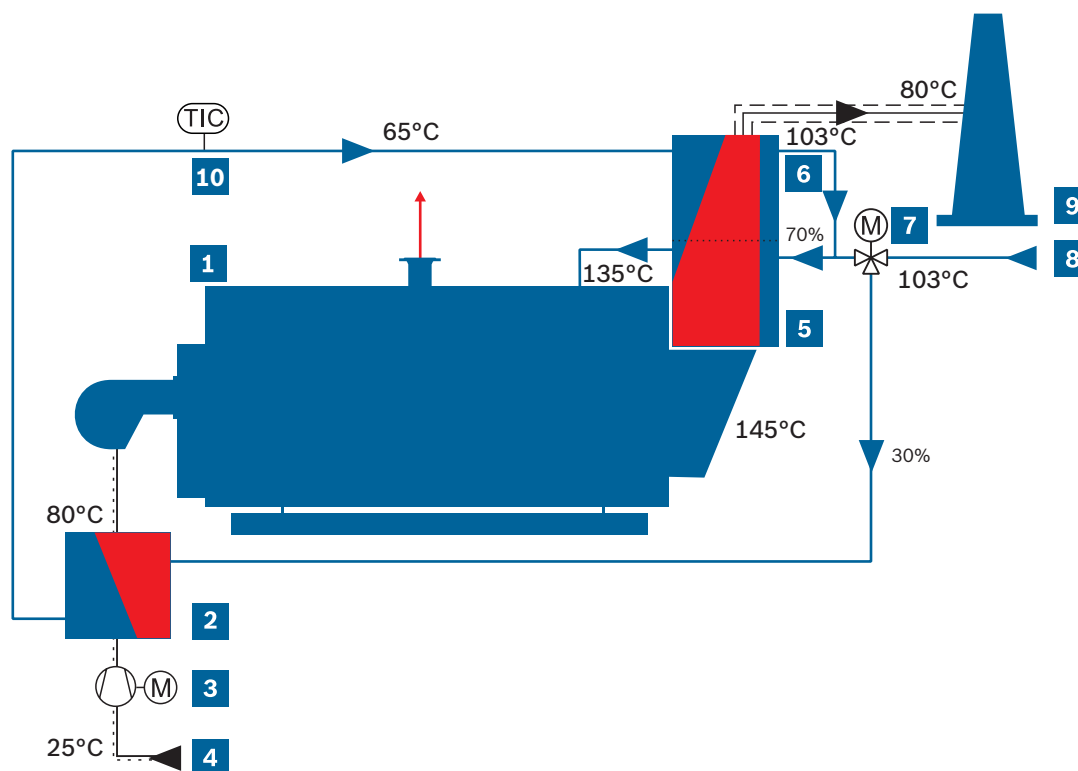
Jako że w podgrzewaczu powietrza powietrze do spalania służy za wewnętrzny czynnik odbierający ciepło, przyrost sprawności przekłada się wprost na zmniejszenie rocznych kosztów zużycia paliwa.

→ Efektywność – Rozdział 2.1.3: Podgrzewacz powietrza, strona 267

#### Konstrukcja

System podgrzewu powietrza produkcji Bosch składa się z:

- drugiego pęczka ekonomizera, który może być dostarczony już zamontowany na kotle lub oddzielnie, w zależności od wymiarów transportowych
- wymiennika ciepła do podgrzewania powietrza
- niezbędnych czujników oraz zaworów odcinających i regulacyjnych



Ryc. 70 Układ podgrzewania powietrza Bosch

- |                                                   |                                  |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b> Kocioł parowy                            | <b>6</b> Wymiennik ciepła spalin |
| <b>2</b> Wymiennik ciepła – podgrzewacz powietrza | <b>7</b> Zawór 3-drogowy         |
| <b>3</b> Wentylator                               | <b>8</b> Woda zasilająca         |
| <b>4</b> Powietrze do spalania                    | <b>9</b> Komin                   |
| <b>5</b> Wymiennik ciepła spalin                  |                                  |



### 3.6 Chłodnica wody zasilającej

W module chłodzenia wody zasilającej (FWM) zimna woda uzupełniająca jest ogrzewana w wymienniku ciepła z użyciem gorącej wody zasilającej. Wskutek oziębienia wody zasilającej powiększa się różnica temperatur między wodą i spalinami w ekonomizerze. Dzięki lepszemu przenoszeniu ciepła w ekonomizerze spada temperatura spalin na jego wylocie.

Sprawność spalania wzrasta nawet o 1,8 % lub o 3 % w przypadku kotłów z 4. ciągiem.

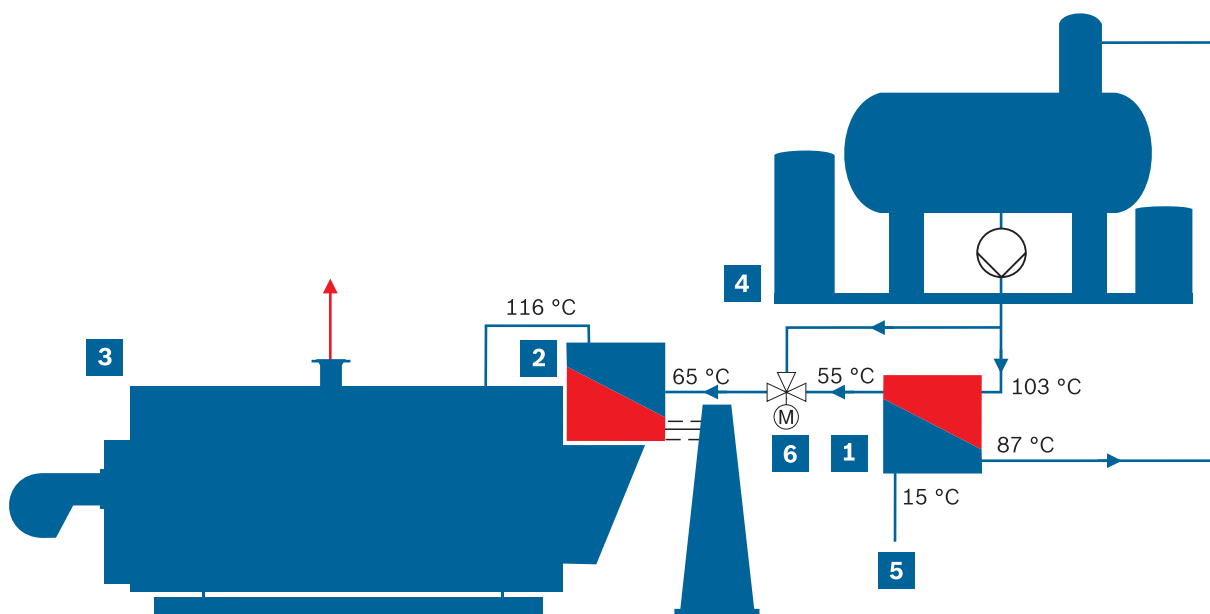
Regulacja temperatury wody zasilającej na wlocie do ekonomizera zapobiega kondensacji spalin chroniąc stalowy ekonomizer przed korozją.

Moduł chłodzenia wody zasilającej jest skutecznym i niezawodnym sposobem obniżenia kosztów zużycia energii.

→ Efektywność – Rozdział 2.1.4: Chłodnica wody zasilającej, strona 269

#### Konstrukcja

W skład modułu chłodnicy wody zasilającej wchodzi płytowy wymiennik ciepła, izolacja, zawory, łączniki rurowe i czujniki temperatury. Moduł jest zmontowany na ramie nośnej i gotowy do podłączenia. Wymiarowanie modułu i parametry regulacji są dobierane indywidualnie do warunków eksploatacji instalacji.



Ryc. 71 Chłodnica wody zasilającej w instalacji parowej

- 1 Chłodnica wody zasilającej
- 2 Ekonomizer
- 3 Kocioł parowy

- 4 Moduł przygotowania wody
- 5 Woda uzupełniająca
- 6 Zawór 3-drogowy

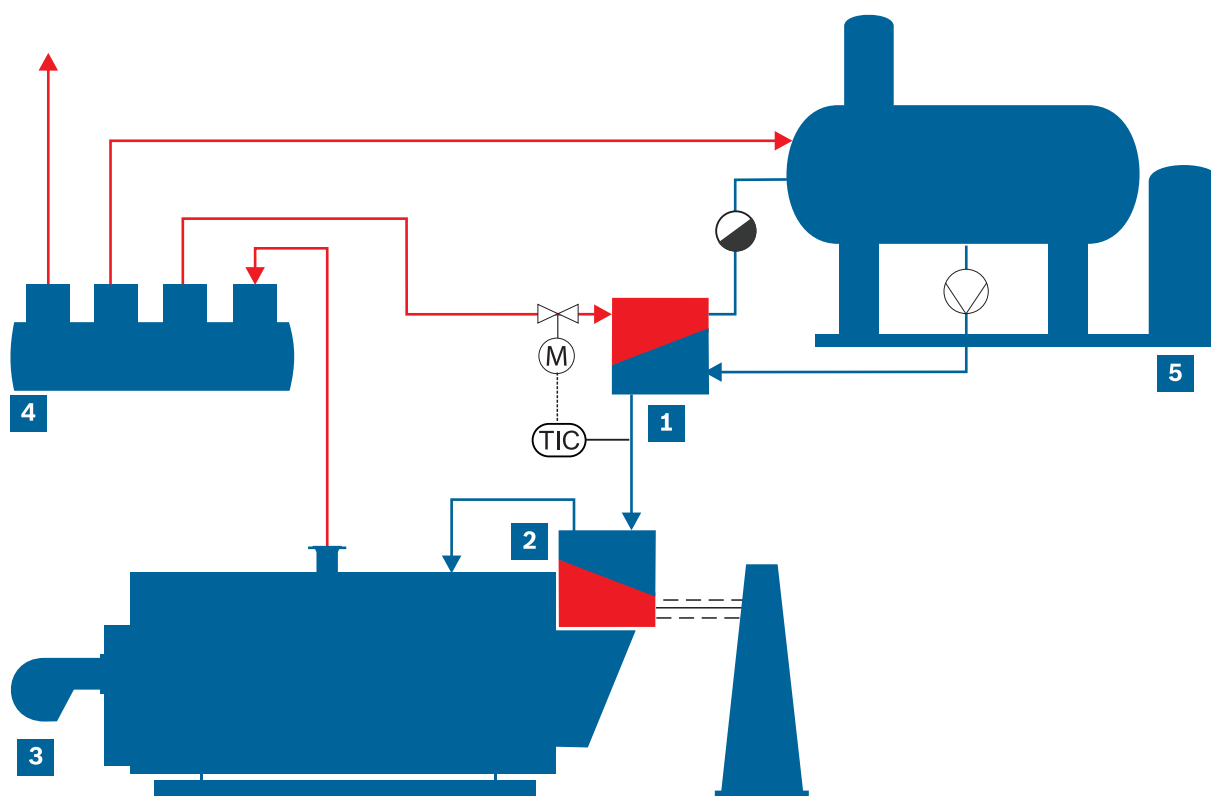


### 3.7 Podgrzewacz wody zasilającej

Podgrzewacz wody zasilającej stosuje się wówczas, gdy są używane paliwa zawierające siarkę w połączeniu z ekonomizerem. Aby uniknąć kondensacji kwasu siarkowego na rurach ekonomizera woda zasilająca jest ogrzewana po odgazowaniu do temperatury powyżej kwasowego punktu rosy. W zależności od zawartości siarki w paliwie jest wymagana temperatura 120 – 140 °C.

→ Narzędzia – Rozdział 3.2: Punkt rosy spalin, strona 395

Podgrzewacz wody zasilającej jest wykonany jako ogrzewany parą wymiennik ciepła płaszczowo-rurowy, wyposażony w potrzebne regulatory, urządzenia bezpieczeństwa i wskaźniki.



Ryc. 72 Uproszczony schemat instalacji z podgrzewaczem wody zasilającej

- 1** Podgrzewacz wody zasilającej
- 2** Ekonomizer
- 3** Kocioł
- 4** Rozdzielacz pary
- 5** Zbiornik wody zasilającej



### 3.8 Przegrzewacz

W przegrzewaczu para wodna jest ogrzewana do temperatury powyżej temperatury nasycenia. Taka para jest nazywana parą przegrzaną.

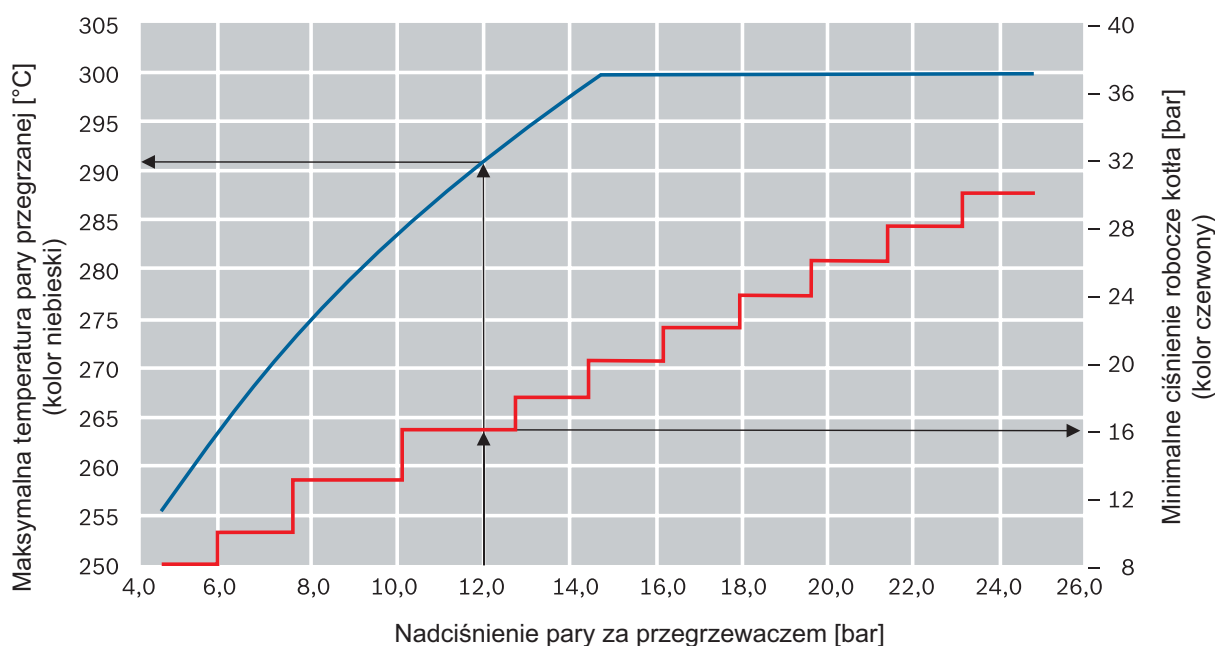
Para przegrzana jest stosowana głównie w kompleksowych, rozbudowanych sieciach parowych oraz jako energia napędowa dla silników i turbin parowych do wytwarzania energii elektrycznej, a także do ogrzewania elektrowni. W kotłach płomienicowo-płomieniówkowych przegrzewacz instaluje się za pierwszym ciągiem płomieniówek na przedniej komorze nawrotnej spalin. W zależności od maks. ciśnienia dop. kotła (PS) stopień przegrzania pary może wnieść do 100 K powyżej temperatury nasycenia. Parę można przegrzać do maksymalnie 300 °C.

→ Ryc. 35, strona 106

→ Technika – Rozdział 1.1.3: Para przegrzana, strona 107



Ryc. 73 Kocioł dwupłomienicowy z modulem przegrzewacza



**Ryc. 74** *Możliwe temperatury pary przegrzanej i minimalny wymagany poziom ciśnienia w odniesieniu do wymaganego ciśnienia pary za przegrzewaczem*

Przykład:

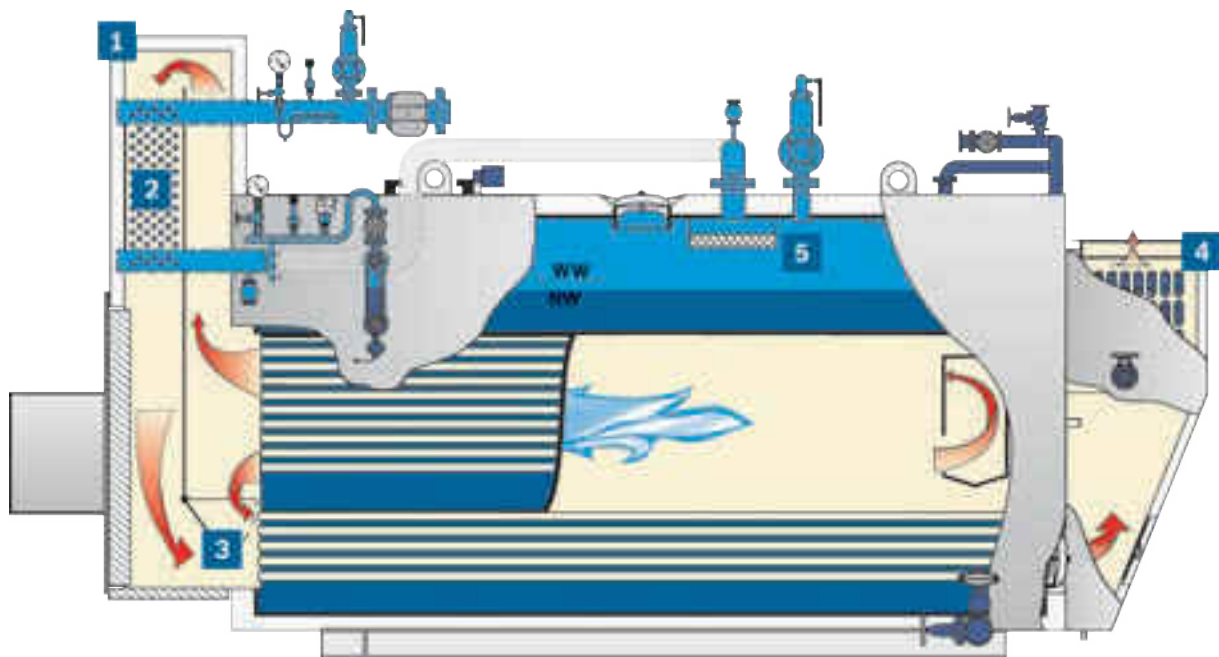
Ciśnienie pary za przegrzewaczem = 12 bar. Z tego wynikają maksymalna możliwa temperatura pary przegrzanej 291 °C i minimalny stopień ciśnienia kotła (PS) 16 bar

**Konstrukcja**

W kotłach ze zintegrowanym modułem przegrzewacza przednia komora nawrotna spalin posiada wbudowaną przegrodę rozdzielającą z klapą regulacji spalin dla obejścia spalin pomiędzy pierwszym a drugim ciągiem płomieniówek. W ten sposób przebiega automatyczny proces przegrzewania pary z regulacją temperatury pary od strony spalin. Przegrzewacz może być tak dopasowany do indywidualnych wymagań klienta, aby temperatura pary przegrzanej była osiągnana w zadanym zakresie obciążenia kotła, np. 50 – 100 %.

Rozruch kotła następuje na sucho na minimalnym obciążeniu. Moc palnika jest zwiększana krokowo do momentu, gdy przez przegrzewacz przepływnie częściowy strumień pary. Po zwolnieniu regulacji temperatury pary przegrzanej i palnika następuje przejście na tryb automatyczny. Aby zapewnić temperaturę pary przegrzanej i uniknąć odkładania się w przegrzewaczu osadów wytrącanych z wody stosuje się wydajne osuszacze pary.

→ Ryc. 103, strona 194



Ryc. 75 Kocioł UL-S z modulem przegrzewacza

- 1 Moduł przegrzewacza
- 2 Pęczek rur przegrzewacza
- 3 Kłapa regulacji temperatury pary przegrzanej
- 4 Ekonomizer
- 5 Osuszacz na wylocie pary nasyconej z kotła

### 3.9 Pompa wody zasilającej

Zadaniem pompy zasilającej jest zbilansowanie ubytków wody powstałych w kotle parowym przez odbiór pary oraz odsalanie i odmulanie, odpowiednią ilością wody zasilającej. Poziom wody w kotle parowym musi być stabilny z tolerancją ok. 100 mm. Projektowanie pomp zasilających kotły podlega szczególnym wymaganiom określonym w przepisach dotyczących eksploatacji kotłów parowych, ponieważ niedostateczna ilość wody w kotle jest dla jego działania stanem krytycznym, któremu należy bezwzględnie zapobiegać.

Norma EN 12953-6 nie określa szczególnych wymagań co do wydajności pomp i ciśnienia, jeżeli występują dwa niezawodne ograniczniki poziomu wody o specjalnej konstrukcji, które wyłączają dopływ ciepła w razie spadku poziomu wody w kotle poniżej niskiego poziomu wody (NW). Dodatkowo musi być zachowana minimalna odległość co najmniej 50 mm między najwyższymi znajdującymi się powierzchniami grzewczymi i oznaczeniem niskiego poziomu (NW), aby parowanie wtórne wywołane przez energię cieplną zgromadzoną w ciągach spalinowych nie mogło spowodować odsłonięcia powierzchni grzewczych.

Wszystkie kotły płomienicowo-płomieniówkowe produkcji Bosch spełniają te warunki, a zatem nie mają tu zastosowania szczególne wymagania dla pomp zasilających.

Oprócz wymagań wynikających z przepisów pompy zasilające muszą spełniać warunki ekonomicznej eksploatacji. Tymi warunkami są w szczególności utrzymywanie stałego poziomu wody w kotle i ciągłe zasilanie wodą zainstalowanych ekonomizerów, tak aby spaliny również mogły oddawać swoje ciepło wodzie zasilającej w sposób ciągły.

Ekonomiczna eksploatacja oznacza również jak najmniejsze zużycie energii elektrycznej do napędzania pompy i minimalizowanie strat dławienia na zaworach regulacyjnych.

Moduł pomp zasilających jest dostępny w różnych wariantach. Stosowane pompy to pionowe, wielostopniowe wysokociśnieniowe pompy obiegowe z całkowicie zamkniętym, chłodzonym wentylatorem silnikiem. Do mocy silnika 22 kW pompy mogą być wyposażone w zintegrowany przemiennik częstotliwości do regulacji obrotów. Są specjalnie zaprojektowane do stosowania z kotłami płomienicowo-płomieniówkowymi.

#### Pole pracy pompy i charakterystyki instalacji

Jako przykład dla objaśnienia pola pracy pompy zasilającej kocioł z regulowaną prędkością obrotową posłużymy się kotłem z ekonomizerem o wydajności znamionowej  $m_p = 4000 \text{ kg/h}$  i średnim ciśnieniu roboczym  $p_{sr} = 13,3 \text{ bar}$ .

→ Ryc. 76, strona 163

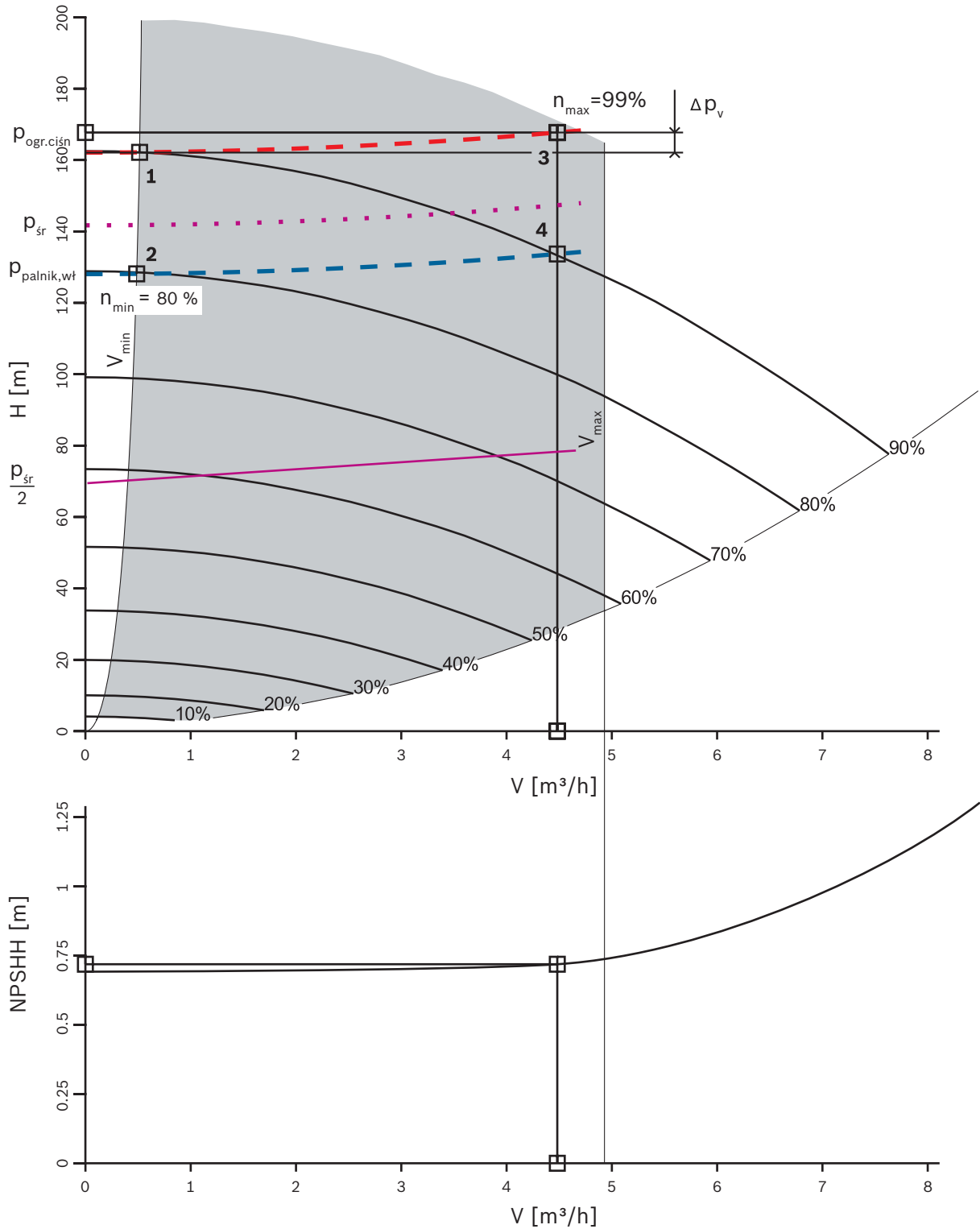
Pole pracy pompy (kolor ciemnoszary) jest ograniczone z lewej strony krzywą minimalnej wydajności  $V_{min}$ . Wynika ono z minimalnej ilości wody potrzebnej do chłodzenia pompy.

Z prawej strony pole pracy pompy jest ograniczone wartością maksymalnej wydajności  $V_{max}$  na górze charakterystyką 100 % prędkości obrotowej, od dołu minimalną wysokością podnoszenia poszczególnych krzywych prędkości.

Cztery wyrysowane charakterystyki instalacji (kolorowe linie przerywane) pokazują pokonywane przez pompę ciśnienie statyczne przy różnych ciśnieniach roboczych w kotle i ciśnienie dynamiczne wynikające ze strat ciśnienia w rurociągach na drodze przesyłu ciepła, na armaturach i ekonomizerach. W kotłowni najczęściej są do pokonania krótkie odcinki rur, niewiele armatur i małe opory przepływu przez ekonomizer, zatem udział ciśnienia dynamicznego w charakterystyce instalacji jest bardzo mały. Przy maksymalnym dla tego kotła strumieniu objętościowym  $4,4 \text{ m}^3/\text{h}$  wynosi zaledwie  $\Delta_{pv} = 0,53 \text{ bar}$ .



Natomiast udział ciśnienia statycznego, wyrażonego przez ciśnienie panujące w kotle parowym, wynosi  $p_{sr} = 13,3$  bar. Ciśnienie statyczne przeważa zatem w ogromnym stopniu. Do tego waha się jeszcze pomiędzy minimalnym ciśnieniem włączenia palnika  $p_{palnik,wt} = 12$  bar i maksymalnym ciśnieniem zadanym na ograniczniku ciśnienia  $p_{ogr.ciśn} = 15$  bar.



Ryc. 76 Przykład pola pracy pompy zasilającej kocioł z regulowaną prędkością obrotową

### Oszczędność energii

Strumień przepływu wymagany dla pompy z regulowaną prędkością obrotową i pompy pracującej w trybie z WŁ/WYŁ z zaworem regulacyjnym jest taki sam. Oszczędność energii może więc wynikać tylko z mniejszego ciśnienia, a nie z mniejszej wydajności jak w przypadku kotłów wodnych.

Dlatego też oszczędności energii mogą ulegać zmianom w zależności od stopnia wykorzystania kotła i rzeczywistego ciśnienia roboczego z jakim pracuje kocioł:

- o kilka punktów procentowych przy dużym stopniu wykorzystania i eksploatacji z ciśnieniem projektowym,
- o nawet 60 % przy częstej pracy kotła na obniżonym ciśnieniu i przy małym stopniu wykorzystania.

### Regulacja prędkości obrotowej

Regulacja prędkości obrotowej musi ze względu na przewagę przeciwcisnienia statycznego ograniczać maksymalną i minimalną prędkość obrotową pompy w zależności od ciśnienia w kotle utrzymując aktualny punkt pracy w polu zasięgu stosowalności pompy (oznaczonym kolorem szarym na wykresie).

→ Ryc. 76, strona 163

Jak jest to trudne, pokazuje porównanie punktów 1 i 4. Podczas gdy przy 90 % prędkości obrotowej pompy przy  $p_{\text{ogr. ciśn}} = 15$  bar pompa pracuje ledwie z minimalną wydajnością (punkt 1), to przy takiej samej prędkości obrotowej przy  $p_{\text{palnik, wł}} = 12,0$  bar pompa już pracuje z pełną wydajnością znamionową (punkt 4).

Jeszcze wyraźniej widać to w charakterystyce instalacji dla pracy na obniżonym ciśnieniu  $p_{\text{sr/2}}$ .

### NPSH (Net Positive Suction Head, antykawitacyjna nadwyżka ciśnienia)

NPSH stanowi minimalne ciśnienie statyczne, jakie musi występować po stronie ssawnej pompy, aby nie wystąpiło zjawisko kawitacji. Wartość ta jest warunkowana konstrukcją pompy i zależy od jej chwilowej wydajności. Przy dużej wydajności wzrasta bardzo ostro. Dlatego zasięg na prawo od maksymalnej wydajności 4,9 m<sup>3</sup>/h nie może być wykorzystany bez ryzyka uszkodzenia pompy wskutek kawitacji.

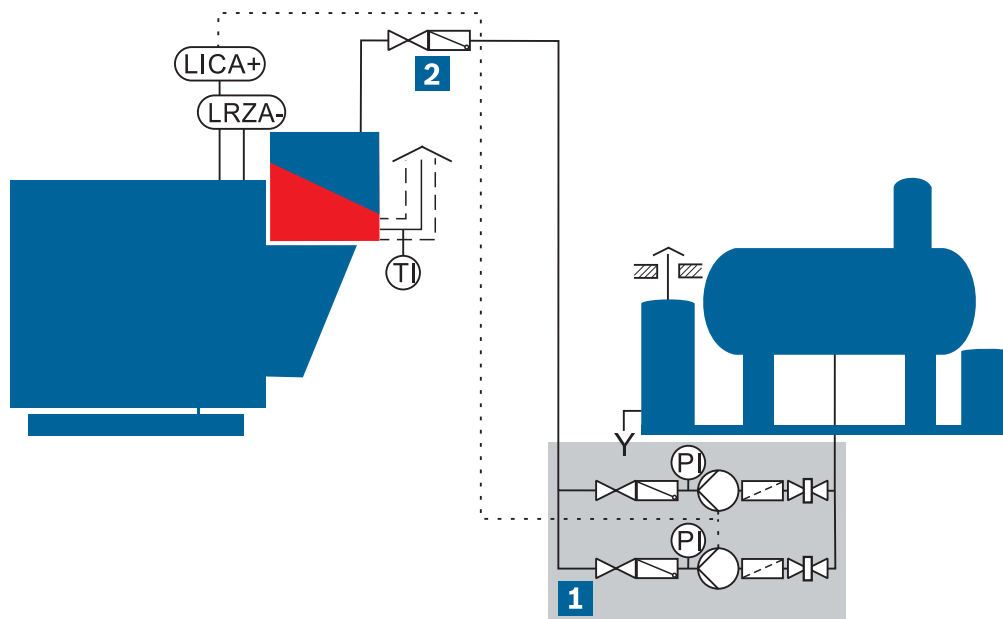
### Moduł pompy wody zasilającej PM

Moduł pompy wody zasilającej jest fabrycznie zamontowany na podstawie wraz z manometrem, armaturami odcinającymi, filtrem i zaworem zwrotnym. Często instaluje się dwa moduły pomp w układzie przełączania awaryjnego, aby zapewnić dyspozycyjność kotła parowego w razie usterki pompy zasilającej.

### Moduł pompy zasilającej z regulowaną prędkością obrotową

Pompy zasilające są dodatkowo wyposażone w przetworniki częstotliwości (falowniki). Regulacja częstotliwościowa dopasowana do pracy kotła może płynnie zmieniać prędkość obrotową pompy. Zmienia się charakterystyka pracy pompy, wydajność pompy może być dopasowana do aktualnych warunków pracy kotła: ciśnienia roboczego i poziomu wody. W ten sposób można zaoszczędzić energię elektryczną zużywaną przez silnik pompy, szczególnie gdy kocioł pracuje na obniżonym ciśnieniu i z obciążeniem częściowym.





Ryc. 77 Schemat modułu pompy zasilającej z kompletną armaturą

- 1** Moduł pompy zasilającej
- 2** Grupa odcinająca przed kotłem
- PI** Manometr
- TI** Wskaźnik temperatury
- LICA+** Przetwornik poziomu
- LRZA-** Ogranicznik niskiego poziomu wody



Ryc. 78 Moduł pompy zasilającej i podwójny moduł pompowy

#### Korzyści:

- Bardzo małe koszty inwestycyjne
- Bardzo małe koszty związane z użytkowaniem i konserwacją
- Dopasowania charakterystyki pompy do różnych ciśnień roboczych
- Łagodny rozruch bez uderzeń ciśnienia przy włączaniu i wyłączaniu pompy
- Zredukowane niebezpieczeństwo kawitacji dzięki małym natężeniom przepływu

#### Należy pamiętać o poniższych zasadach:

- Stosunek regulacji między  $V_{\min}$  i  $V_{\max}$  powinien wynosić co najmniej 1:4.
- Przy stosowaniu ekonomizerów regulacja częstotliwościowa pompy zasilającej powinna, jeśli to możliwe, także obejmować zakres regulacji częściowego obciążenia palnika. W razie konieczności można też połączyć pompę zasilającą ze zmienną prędkością obrotową z zaworem regulacyjnym wody zasilającej.

#### Przykład i objaśnienia do pola pracy pompy zasilającej ze zmienną prędkością obrotową

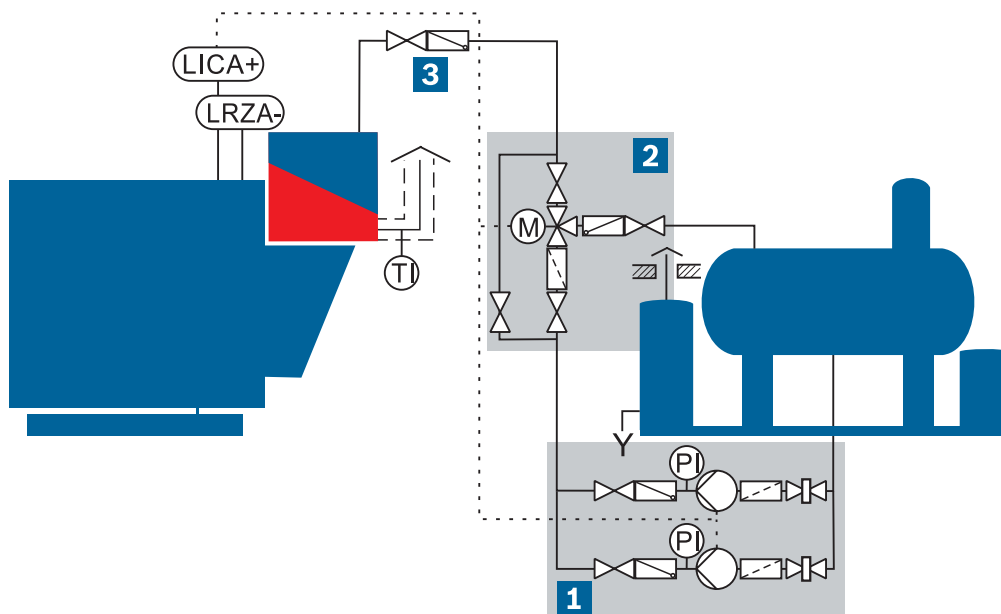
W przykładzie użyto pompy z regulowaną prędkością obrotową zasilającej kocioł z ekonomizerem o wydajności znamionowej  $\dot{m}_{\text{para}} = 4000 \text{ kg/h}$  i średnim ciśnieniu roboczym  $p_{\text{sr}} = 13,3 \text{ bar}$ .

#### Moduł pompy z/bez regulowanej prędkości obrotowej i regulacji dopływu

Jeżeli nie zastosowano pompy zasilającej z regulowaną prędkością obrotową lub zastosowana pompa z regulowaną prędkością obrotową nie pokrywa wymaganego zakresu regulacji, zaleca się dla wszystkich kotłów wyposażonych w palniki modułowane i wymienniki ciepła spalin regulację ciągłą przez moduł regulacji wody zasilającej RM. Moduł zapewnia dłuższy czas przepływu przez wymiennik ciepła i tym samym optymalny odzysk ciepła ze spalin kotłowych. Jednocześnie moduł regulacji wody zasilającej podaje minimalną ilość wody potrzebną do chłodzenia pompy wody zasilającej. Moduł jest zmontowany i gotowy do zainstalowania w odpowiednim miejscu na przewodzie ciśnieniowym wody zasilającej.

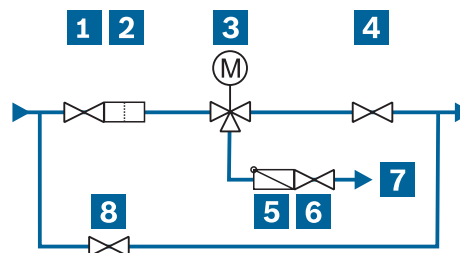


Moduł regulacji wody zasilającej do płynnego zasilania kotła składa się z zaworu regulacyjnego, zaworu odpływowego, filtra i obejścia z potrzebnymi zaworami odcinającymi.



Ryc. 79 Schemat modułu pompowego i modułu regulacji wody zasilającej ze wszystkimi armaturami

<b>1</b>	Moduł pompowy	<b>PI</b>	Manometr
<b>2</b>	Moduł regulacji wody zasilającej	<b>TI</b>	Wskaźnik temperatury
<b>3</b>	Grupa odcinająca przed kotłem	<b>LICA+</b>	Przetwornik ciśnienia
		<b>LRZA-</b>	Ogranicznik niskiego poziomu wody



Ryc. 80 Moduł regulacji wody zasilającej

- |          |                                                                      |          |                                        |
|----------|----------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------|
| <b>1</b> | Zawór odcinający                                                     | <b>5</b> | Zawór zwrotny                          |
| <b>2</b> | Filtr                                                                | <b>6</b> | Zawór odcinający                       |
| <b>3</b> | Zawór regulacyjny wody zasilającej z regulacją minimalnego przepływu | <b>7</b> | Przepływ do zbiornika wody zasilającej |
| <b>4</b> | Zawór odcinający                                                     | <b>8</b> | Zawór odcinający w obejściu            |

**Korzyści:**

- Zapewniony przepływ minimalny do chłodzenia pompy zasilającej
- Większa efektywność wymiennika ciepła spalin
- Mniej włączeń pompy
- Utrzymanie stałego poziomu wody w kotle



### 3.10 Sterowanie kotłem

Sterowanie kotłem ma decydujące znaczenie dla jego bezpiecznej, niezawodnej i ekonomicznej eksploatacji.

Budowa i użytkowanie instalacji kotłowych muszą spełniać szereg warunków z zakresu bezpieczeństwa technicznego, które są zawarte w stosownych przepisach. Dzisiaj jednak, oprócz bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacji, coraz ważniejsze staje się optymalne zarządzanie energią, które wymaga ciągłego rejestrowania danych i ciągłej optymalizacji działania instalacji kotłowych. Należy więc zadbać o możliwość włączenia kotłowni w system centralnego sterowania procesami w zakładzie, gdyż tylko pełna wewnętrzna komunikacja między źródłem ciepła i jego odbiorcami może zapewnić optymalny sposób eksploatacji instalacji, który zaowocuje korzyściami ekonomicznymi dla całego zakładu.

Głównymi funkcjami szafy sterowniczej są:

- funkcje bezpieczeństwa,
- funkcje regulacji,
- zbieranie i analiza danych,
- integracja z systemem centralnego sterowania procesami,
- integracja z usługą zdalnego serwisu.

Od 2001 Bosch Industriekessel GmbH, jako pierwszy wytwórca kotłów, wprowadza systemy sterowania oparte na sterownikach programowalnych do wyposażenia seryjnych kotłów płomienicowo-płomieniówkowych. Koncepcja ta odniosła spektakularny sukces na rynku, a takie układy sterowania od tamtej pory stały się już standardem.

Systemy sterowania są ciągle rozwijane. Graficzne panele dotykowe w połączeniu ze sterownikami programowalnymi oferują najwyższą przejrzystość danych procesowych i wzajemnych połączeń.

Poza sterowaniem samym kotłem w kotłowni parowej są realizowane jeszcze inne funkcje sterowania. Funkcje te oraz integrowalność systemów sterowania są omówione w rozdziale „Sterowanie instalacją”.

→ Technika – Rozdział 4.6: System zarządzania instalacją SCO, strona 208

## Systemy sterowania



Ryc. 81 Rozdzielnica produkcji Bosch

Prawie wszędzie dzisiaj w nowoczesnych systemach sterowania do regulacji kotła i kotłowni wykorzystuje się przemysłowe systemy sterowania oparte na sterownikach programowalnych.

System realizuje wszystkie funkcje sterowania i regulacji instalacją kotłową i może komunikować się za pośrednictwem magistrali-BUS lub po sieci z innymi systemami sterowania (np. menedżerami palnikowymi, indywidualnymi systemami sterowania poszczególnych modułów kotłowni czy nadrzędnymi systemami centralnego sterowania procesami przemysłowymi). Natomiast łańcuch zabezpieczeń jest ze względu na bardzo wysokie wymagania niezawodności zazwyczaj realizowany wciąż jeszcze konwencjonalną techniką stycznikowo-przełącznikową.

Wszystkie programy zainstalowane w sterowaniu są zapisane na miniaturowych kartach pamięci (Micro Memory Card), co sprawia, że baterie podtrzymujące lub pamięci EPROM zabezpieczające na wypadek awarii zasilania, stały się zbędne. Urządzenia są kompaktowe, zbudowane są w postaci modułów zamontowanych na szynie systemowej tworząc trwałą jednostkę spełniającą wymogi kompatybilności elektromagnetycznej wg dyrektywy EMC. Do systemu można dodać opcjonalne dodatkowe wejścia i wyjścia, procesor komunikacyjny, np. protokół Profibus DP, do podłączenia do systemu centralnego sterowania, sieć przemysłową Ethernet do komunikacji z innymi modułami sterującymi lub przygotowania pod usługę zdalnego serwisu MEC Remote oraz wiele innych opcji

→ Produkty – Rozdział 6.6: MEC Remote, strona 376

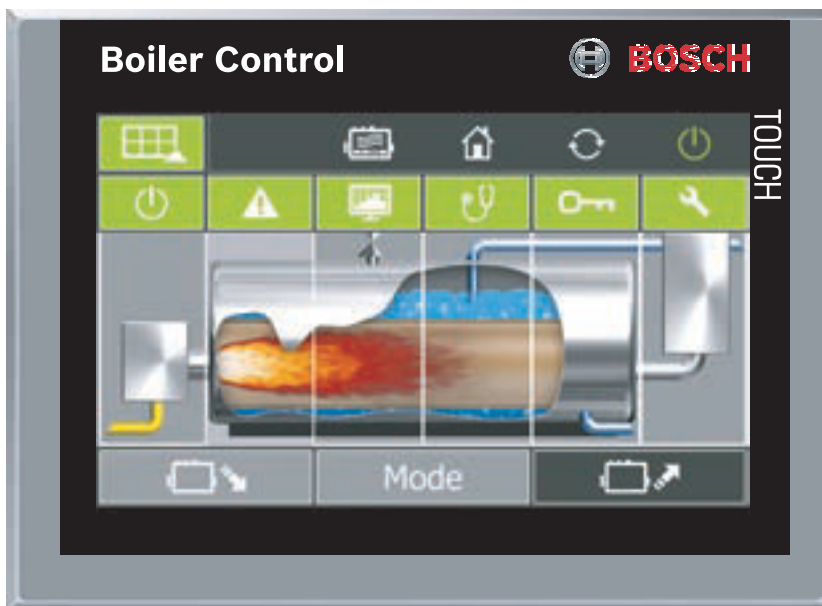
→ Produkty – Rozdział 6.4: MEC Optimize, strona 373

→ Technika – Rozdział 4.6: System zarządzania instalacją SCO, strona 208

Specjalnie dopasowane do układów regulacji kotła i instalacji kotłowej i fabrycznie testowane bloki funkcjonalne oprogramowania umożliwiają spełnienie złożonych i wysokich wymagań bezpiecznego użytkownika kotła. Klient zyskuje korzyść w postaci systemów przygotowanych na wszelkie możliwe ewentualności, których poszczególne składniki oprogramowania były już wielokrotnie stosowane i przetestowane w praktyce. Specjalne, indywidualne programowanie zdarza się rzadko i tylko w wyjątkowych wypadkach



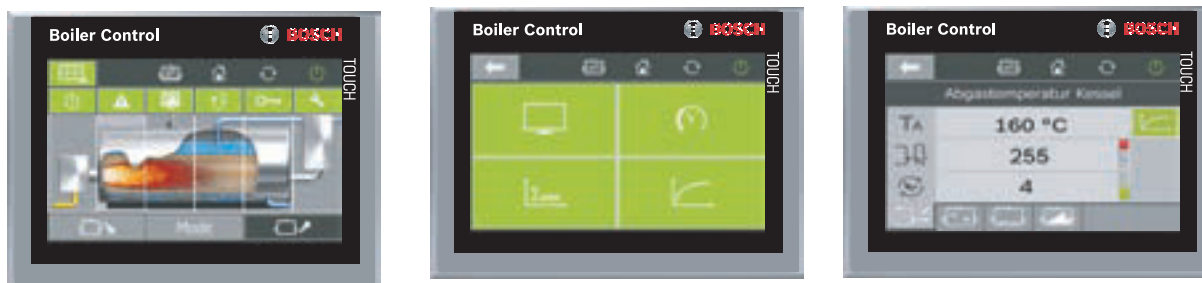
### 3.11 Sterowanie kotłem BCO



Ryc. 82 Sterowanie kotłem BCO – przykładowy wyświetlacz dla kotłowni parowej

System sterowania z graficznym, dotykowym wyświetlaczem TFT. Wyjątkowa trwałość, jasność i kontrast wyświetlacza predestynują go do zastosowań przemysłowych w najtrudniejszych nawet warunkach. Graficzna struktura menu; komunikaty operacyjne i archiwum parametrów procesowych są zapisywane na karcie MMC umieszczonej w slotcie panelu.

#### Graficzny interfejs z pełną przejrzystością danych procesowych



Ryc. 83 Przykłady interfejsów sterowania kotłem BCO

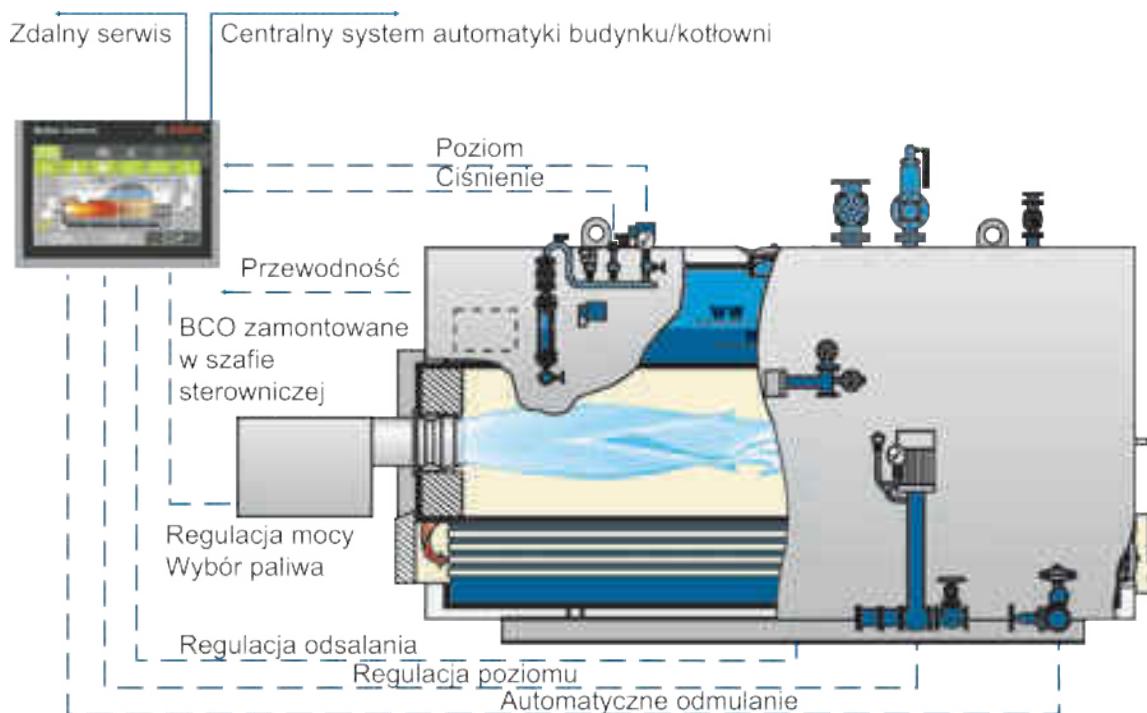
Dla zapewnienia komfortu obsługi symbole, grafiki i interfejs użytkownika na dotykowym wyświetlaczu są zaprojektowane z wykorzystaniem aktualnej wiedzy z zakresu ergonomii i łatwości użycia. Na kolorowym wyświetlaczu można intuicyjnie wywoływać wszystkie dostępne funkcje regulacji i sterowania oraz zmieniać ustalalne wartości parametrów.

Sterowanie BCO standardowo wyposażonego kotła ukazuje na graficznym wyświetlaczu wiele stanów roboczych, danych procesowych i wartości pomiarowych instalacji kotłowej. Należą do nich zawsze licznik czasu pracy kotła, palnika i liczba zapłonów palnika, wyświetlane są poza tym wszystkie zadane wartości włączające i wyłączające, wielkości odchyłek, wartości graniczne. Ważne dane procesowe są zapisywane co określony czas na karcie pamięci sterowania kotła/installacji. Archiwum ma strukturę kolejki, czyli w przypadku przepełnienia pamięci najstarsze zapisane dane procesowe są kasowane z archiwum, a najnowsze dodawane. Dane procesowe mogą być także wyświetlane w postaci wykresów. Istnieje również możliwość wglądu do archiwów danych procesowych przez serwisantów.



Dane mogą być swobodnie przetwarzane na tekst lub tabelę, co umożliwia łatwą analizę zużycia paliwa, przebiegów ciśnień i temperatur. Pełna przejrzystość danych procesowych ułatwia optymalizację parametrów regulacji, co przynosi efekty w postaci obniżenia kosztów zużycia energii, redukcji szkodliwych emisji i mniejszego zużycia komponentów instalacji kotłowej.

### Funkcje sterowania kotłownią parową



Ryc. 84 Podstawowe funkcje sterowania kotłem BCO dla kotłowni parowej

### Sterowanie kotłem BCO dla kotłowni parowej

Do podstawowego zakresu sterowania obejmującego regulację mocy, regulację poziomu, regulację jakości wody, regulację odmulania i kontroli łańcucha zabezpieczeń, sterowanie BCO można rozszerzyć o dodatkowe opcje i funkcje:

- Automatyczny rozruch ze stanu zimnego
- Pomiar i regulacja temperatury spalin dla kotła z ekonomizerem
- Pomiar i regulacja temperatury pary przegrzanej dla kotła z przegrzewaczem
- Pomiar strumieni ilościowych pary, wody zasilającej i paliwa
- Sterowanie przełączaniem pomp zasilających w zależności od ciśnienia, czasu lub w razie awarii
- Sterowana czasowo gorąca rezerwa kotła z funkcją obniżenia ciśnienia
- Wyświetlacz czasu pracy, częstotliwości zapłonów, liczby zimnych rozruchów w określonym czasie
- Rozpoznawanie niekorzystnych stanów rozruchowych
- Rozpoznawanie zanieczyszczeń po stronie wody i spalin lub niepożądaną kondensacją
- Generowanie komunikatów sygnalizujących konieczność konserwacji
- Pokazanie strat energii związanych z odmulaniem i odsalaniem
- Pokazanie zużycia paliwa i wody w określonym czasie
- Pokazanie ilości odbieranej pary w określonym czasie
- Pokazanie profilu obciążenia kotła w określonym czasie
- Połączenie z nadrzędnymi systemami wizualizacji i sterowania



- Usługa zdalnego wsparcia technicznego poprzez MEC Remote
- Połączenie z centralnym systemem automatyzacji budynku/kotłowni

→ Technika – Rozdział 3.2: Utrzymanie kotła w gorącej rezerwie, strona 147

→ Raport Branżowy FB029: Moduł automatyki rozruchu dla kotłów parowych

### **Monitoring stanu (Condition Monitoring)**

CM oferuje użytkownikowi możliwość monitorowania instalacji zarówno pod kątem efektywności jak i użytkowania zgodnie z przewidywanym zastosowaniem. Oprogramowanie analizuje dane systemowe, ocenia je i prezentuje w czytelny sposób w oparciu o model wzorowany na ulicznej sygnalizacji świetlnej.

→ Efektywność – Rozdział 4.3.2: Monitoring stanu (Condition Monitoring), strona 298

### 3.12 Kompaktowe sterowanie kotłem parowym CSC

Łatwe w obsłudze sterowanie mniejszymi kotłami parowymi o wydajności do 4000 kg/h, wyposażone fabrycznie we wszystkie potrzebne funkcje do częściowo zautomatyzowanej pracy kotła.



**Ryc. 85** Kompaktowe sterowanie CSC dla kotłów parowych mniejszej mocy

Kompaktowe sterowanie CSC z wykorzystaniem sterowników programowalnych jest idealnym rozwiązaniem dla kotłów parowych o wydajności do 4000 kg/h. Zawiera wszystkie podstawowe funkcje potrzebne do komfortowego sterowania i użytkowania kotła. W porównaniu ze sterowaniem BCO dla bardziej rozbudowanych instalacji, CSC stanowi korzystniejszą alternatywę dla pojedynczych kotłów parowych.

#### Korzyści

- Sterowanie dla kotłów parowych o wydajności do 4000 kg/h w atrakcyjnej cenie
- Prosta obsługa i przejrzysta wizualizacja wszystkich stanów roboczych na kolorowym panelu dotykowym
- Dogodny montaż i niewielkie rozmiary, możliwość zainstalowania w fabryce bezpośrednio na kotle lub dostawa w postaci szafy naściennej, gotowe okablowanie, po testach fabrycznych
- Zabezpieczenie mocy dla systemu zasilania paliwem, pompy wody zasilającej, systemu odmulania i odsalania
- Automatyczne procesy odsalania i odmulania w oparciu o pomiar przewodności zapewniają korzystne warunki dla utrzymania wymaganej jakości wody.

#### Funkcje objęte podstawowym zakresem wyposażenia

- Ograniczenie minimalnego i maksymalnego poziomu wody
- Ograniczenie maksymalnego ciśnienia roboczego
- Regulacja poziomu wody, 2-stopniowa lub bezstopniowa
- Zabezpieczenie pomp zasilających przed suchobiegiem
- Regulacja mocy, 2-stopniowa lub bezstopniowa
- Sygnalizowanie alarmów i zakłóceń z archiwizowaniem raportów



### Funkcje dodatkowe:

- Funkcja przekazywania alarmu wysokiego poziomu wody na zewnątrz
- Sterowanie pompą zapasową
- Regulacja i ograniczenie przewodności
- Automatyczne odmulanie i odsalanie
- Gorąca rezerwa przy użyciu palnika
- Regulacja mocy dla dwóch paliw

### Konstrukcja

Sterowanie CSC z wykorzystaniem sterowników programowalnych wyposażone w intuicyjny panel dotykowy. Zabudowane w szafie sterowniczej kotła. Całość zamontowana na kotle wraz z kompletnym okablowaniem do czujników, siłowników i palnika. Opcjonalnie możliwe dostarczenie w wersji do montażu ściennego.



Ryc. 86 Przykłady interfejsów sterowania kotłem CSC







## 4 Kotłownia

Kotłownią nazywa się budynek lub sekcję budynku, gdzie znajduje się jeden lub więcej kotłów parowych. Zazwyczaj w tym samym pomieszczeniu zainstalowane są również pomocnicze urządzenia potrzebne do działania kotła parowego.

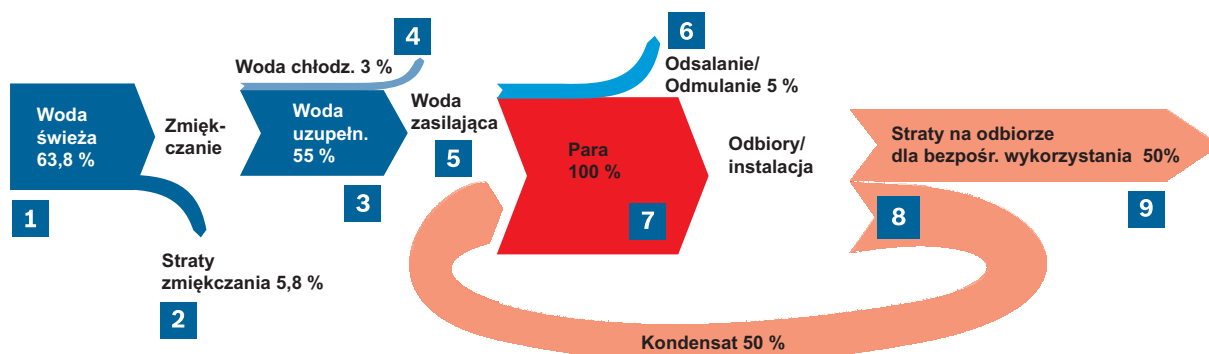
Należą do nich w szczególności:

- urządzenia do przygotowania wody
- urządzenia do usuwania wody
- urządzenia do obróbki, dystrybucji i magazynowania pary i kondensatu
- urządzenia do monitoringu jakości wody
- automatyka i sterowanie
- urządzenia do odzysku ciepła

Kotłownia podlega szczególnym przepisom.

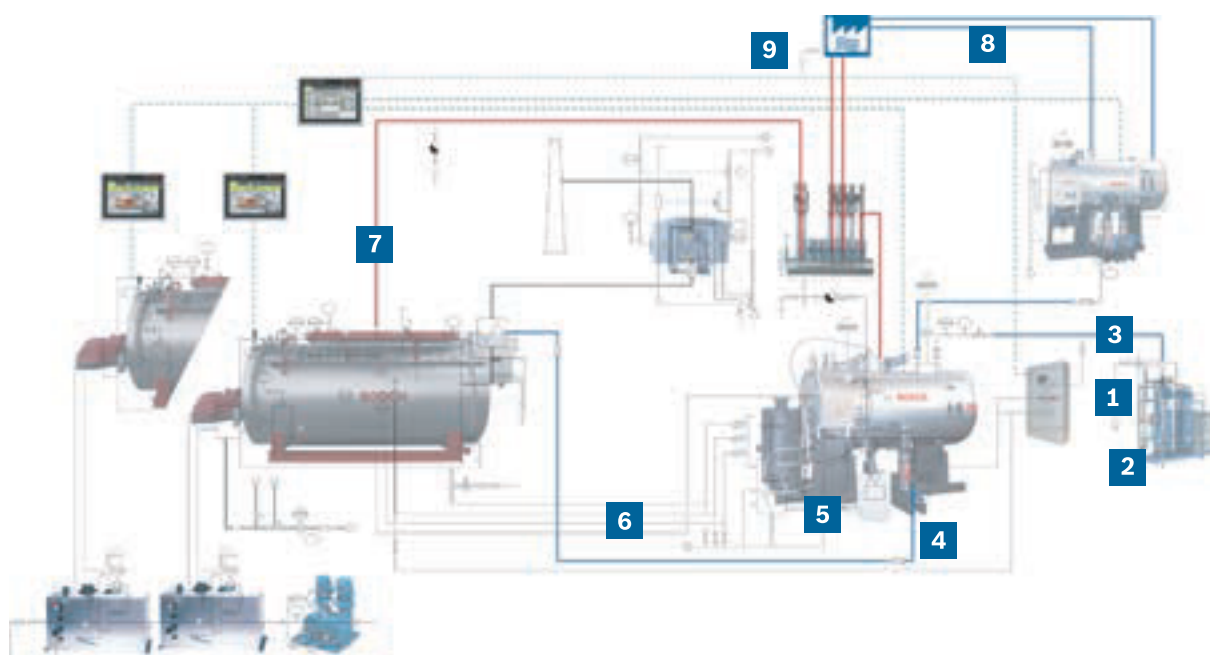
→ Projektowanie – rozdział 6: Prawo, strona 65

Ilustracja poniżej przedstawia przykładowy bilans masowy wody i pary. Specyfika strumieni masowych jest różna dla różnych kotłowni i zależy od zastosowanych komponentów instalacji i warunków eksploatacyjnych. Mają one elementarne znaczenie dla projektu.



Ryc. 87 Bilans masowy instalacji do wytwarzania pary (wartości przykładowe)

- 1 Woda świeża do zmiękczenia
- 2 Straty zmiękczenia z powodu regeneracji
- 3 Woda uzupełniająca do odgazowania
- 4 Woda chłodząca do zbiornika odmulin i odsolin
- 5 Woda zasilająca do kotła parowego
- 6 Straty z odmulinami/odsolinami
- 7 Para do odbiorników
- 8 Kondensat
- 9 Straty na odbiorach (np. przez bezpośrednie wykorzystanie)



Ryc. 88 Przykład kotłowni

- 1** Woda świeża do zmiękczenia
- 2** Straty zmiękczenia przez regenerację
- 3** Woda uzupełniająca do odgazowania
- 4** Woda zasilająca do kotła parowego
- 5** Woda chłodząca do zbiornika odsolin i odmulin
- 6** Straty z odmulania/odsłaniania
- 7** Para do odbiorników
- 8** Kondensat
- 9** Ubytki medium na odbiorach (np. przez bezpośrednie wykorzystanie)





## 4.1 Przygotowanie wody

Prawidłowe przygotowanie wody jest jednym z podstawowych warunków pewnej i długotrwałej eksploatacji kotłowni parowej. Z tego powodu obowiązują surowe wymogi dotyczące właściwości wody przeznaczonej dla kotłowni parowych.

Poniżej krótko objaśniono definicje i ich synonimy określające różne strumienie wody, stosowane w odniesieniu do kotłowni parowych.

Definicja	Objaśnienie
Woda świeża (woda surowa)	Nieuzdatniona woda pochodząca z następujących źródeł: <ul style="list-style-type: none"> <li>• publiczna sieć wodociągowa (woda „miejska“)</li> <li>• ujęcie własne</li> <li>• źródło</li> </ul> Ta woda służy do napełniania i wyrównywania strat wody w instalacji, jest dostarczana do instalacji zazwyczaj z temperaturą ok. 10 °C.
Woda zmiękczona (woda pozbawiona twardości, woda miękka)	Woda, która w procesie zmiękczenia w wymienniku jonowym została pozbawiona jonów wapnia $Ca^{2+}$ i magnezu $Mg^{2+}$
Woda częściowo odsolona (permeat lub woda demineralizowana)	Woda, która prawie nie zawiera soli. Ma przewodność < 50 $\mu S/cm$ i jest najczęściej uzyskiwana z wody zmiękczonej metodą odwróconej osmozy.
Woda całkowicie odsolona (woda zdejonizowana)	Woda, która nie zawiera żadnych soli. Ma przewodność < 1 $\mu S/cm$ i jest najczęściej uzyskiwana metodą dekatjonizacji i deanionizacji.
Woda uzupełniająca	Woda zmiękczona, częściowo lub całkowicie odsolona, dostarczana do zbiornika wody zasilającej celem odgazowania.
Kondensat beztlenowy (kondensat wysokociśnieniowy)	Kondensat zbierany w zbiornikach zamkniętych pod ciśnieniem > 0,2 bar.
Woda zasilająca	Woda zmiękczona, odgazowana i chemicznie kondycjonowana, dostarczana do kotła przez pompy zasilające.

Tab. 11 Definicje różnych strumieni wody i ich objaśnienie

Złe przygotowanie wody, błędy w analizach poprzedzających przygotowanie wody oraz brak kontroli parametrów wody to wciąż najczęstsze przyczyny zakłóceń w ruchu, a nawet uszkodzeń kotłów parowych.

Z tego powodu uchwalono na europejskiego prawodawstwa zbiór reguł dotyczących utrzymania precyzyjnie zdefiniowanych parametrów wody zasilającej i kotłowej.

W normie EN 12953-10 określono konkretne wymagania w odniesieniu do wyglądu, przewodności, wartości pH, twardości całkowitej, pojemności kwasowej oraz zawartości żelaza, miedzi, kwasu krzemowego, oleju/tłuszczu, fosforanów. Woda ma być także wolna od substancji organicznych.



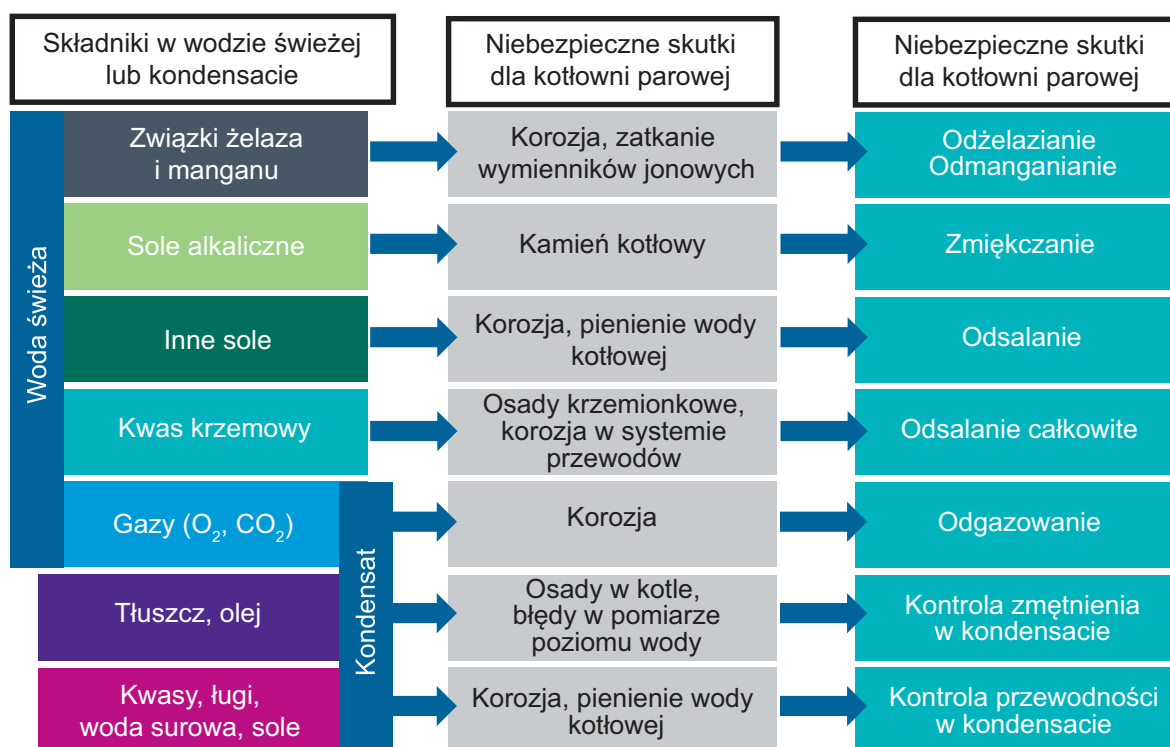
Dotrzymanie podanych wymagań dla wody zasilającej i wody kotłowej pozwala zminimalizować lub wyeliminować przyczyny następujących uszkodzeń i zaburzeń w pracy kotła:

- korozji
- osadów od strony wody
- pienienia wody kotłowej
- gromadzenia się szlamu i mułów

Aby móc dotrzymać parametrów wody i uniknąć w ten sposób uszkodzeń spowodowanych zbyt dużą zawartością niekorzystnych składników w wodzie należy odpowiednio przygotować świeżą wodę.

W tym celu stosuje się, w zależności od wydajności instalacji kotłowej, ilości kondensatu i składników zawartych w wodzie świeżej, rozmaite metody przygotowania wody w celu wykorzystania jej w instalacji kotłowej.

Poniższa ilustracja przedstawia wykaz składników zawartych w świeżej wodzie lub kondensacie i wynikające z nich niebezpieczeństwa dla kotła parowego oraz metody przygotowania wody jakie należy zastosować.



Ryc. 89 Składniki wody świeżej i kondensatu

Wybór metody przygotowania wody powinien zawsze opierać się na szczegółowej analizie dostarczanej wody świeżej.



#### 4.1.1 Odżelazianie i odmanganianie

Proces odżelaziania i odmanganiania wody polega na utlenieniu rozpuszczonych w wodzie jonów żelaza II ( $\text{Fe}^{2+}$ ) i manganu II ( $\text{Mn}^{2+}$ ) do postaci  $\text{Fe}^{3+}$  i  $\text{Mn}^{3+}$ . Utlenianie może odbywać się z użyciem tlenu ( $\text{O}_2$ ), innych utleniających związków chemicznych jak nadmanganian potasu ( $\text{KMnO}_4$ ) lub przez katalizę. W wyniku utleniania związki rozpuszczone w wodzie zamieniają się w związki nierozpuszczalne, które następnie osadzają się na złożu filtracyjnym.

#### 4.1.2 Zmiękczenie

Wśród związków rozpuszczonych w wodzie twardość jest najbardziej szkodliwa dla instalacji kotłowej. Za twardość wody są odpowiedzialne głównie jony wapnia i magnezu ( $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$ ). Jeśli w wodzie zasilającej są obecne te tak zwane metale ziem alkalicznych, mogą one ulec wytrąceniu w wyniku ogrzewania wody w kotle tworząc kamień kotłowy odkładający się na powierzchniach grzewczych kotła.



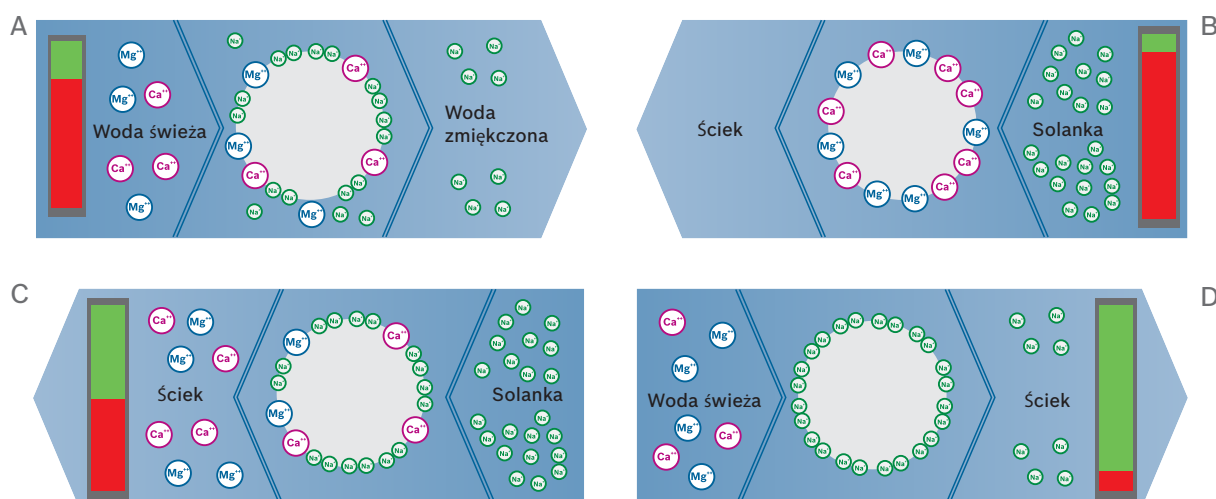
Ryc. 90 Kamień kotłowy, który spowodował uszkodzenie płomienicy

Jeśli obecność kamienia kotłowego nie zostanie szybko zauważona, kamień staje się barierą dla przenoszenia ciepła, czego skutkiem jest pogorszenie sprawności kotła. Jeżeli warstwa kamienia dalej narasta, może dojść do przegrzania powierzchni grzewczych i w konsekwencji poważnego uszkodzenia, a nawet zupełnego zniszczenia kotła.

Aby tego uniknąć, należy usunąć z wody jony powodujące twardość wody.

#### Sposób działania wymiennicza jonowego

Wymiana jonowa jest najczęściej stosowaną metodą zmiękczenia wody. W procesie wymiany jonowej odpowiedzialne za twardość wody jony wapnia i magnezu są wymieniane na nieszkodliwe jony sodu. Wymiana jonowa jest prostym i skutecznym sposobem zmiękczenia wody, a jedyny jej koszt to zużycie specjalnej soli regeneracyjnej.



Ryc. 91 Sposób działania wymiennicza jonowego do zmiękczenia wody

### Faza A: zmiękczenie wody

Zmiękczenie wody drogą wymiany jonowej opiera się na chemicznym zjawisku równowagi jonowej. Złoże jonowymienne (żywica jonitowa) zasypane do zbiornika ciśnieniowego jest obsadzone jonami sodu. Gdy twarda woda świeża przepływa przez zmiękczac, tworzące twardość jony wapnia i magnezu zostają zastąpione neutralnymi jonami sodowymi.

### Faza B: początek regeneracji

Gdy wszystkie jony sodu na żywicy jonitowej zostaną zastąpione tworzącymi twardość jonami wapnia i magnezu, konieczna jest regeneracja złoża.

Regeneracja polega na przepłukaniu złoża solanką – roztworem chlorku sodu. Podczas tej czynności zachodzi proces odwrotny: złoże zostaje ponownie obsadzone czynnymi jonami sodu, oddając solance jony wapnia i magnezu.

### Faza C: koniec regeneracji

Wymiana jonów prowadzi stopniowo do wyczerpania zdolności jonowymiennej złoża. Regeneracja złoża nie powinna następować w momencie całkowitej utraty przez nie zdolności zmiękczenia, ale nieco wcześniej. Takie rozwiązanie jest najbardziej ekonomiczne i pozwala na zużywanie jak najmniejszych ilości soli regeneracyjnej.

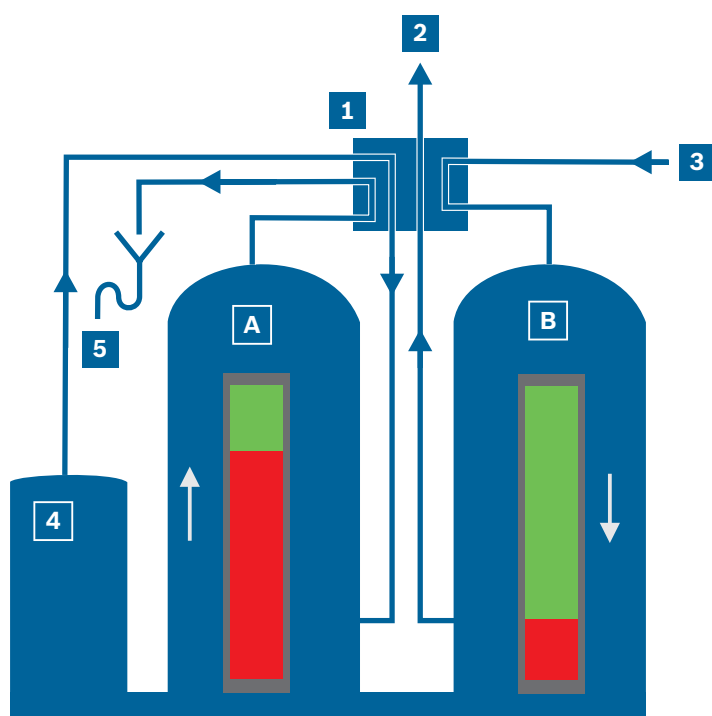
### Faza D: początek kolejnego cyklu zmiękczenia

Po zakończeniu regeneracji wymiennicz jonowy jest przepłukiwany wodą, która jest następnie odprowadzana jako ściek do kanalizacji. Wymiennicz jest gotowy do kolejnego cyklu zmiękczenia wody.

W większych instalacjach zaleca się stosowanie wymienniczy jonowych dwukolumnowych.

→ Ryc. 92, strona 183

Takie rozwiązanie umożliwia ciągłą dostawę zmiękczonej wody, gdy w czasie regeneracji jednej kolumny pracuje druga.



Ryc. 92 Schemat i zdjęcie zmiękczacza wody dwukolumnowego

- A** Faza zmiękczenia A: regeneracja złoża jonowymiennego płukaniem w przeciwnym kierunku
- B** Faza zmiękczenia B: wymiana jonów w trakcie
- 1** Armatura przełączająca: ilustracja pokazuje aktualny kierunek przepływu strumienia
- 2** Zmiękczona woda uzupełniająca
- 3** Woda świeża
- 4** Zbiornik na roztwór regeneracyjny
- 5** Ściek

#### 4.1.3 Demineralizacja

Podczas parowania wody w kotle wydzielają się rozpuszczone w niej sole, które pozostają w kotle zwiększając zasolenie wody kotłowej. Aby nie zostało przekroczone dopuszczalne stężenie soli woda kotłowa musi być ciągle odsalana. Proces odsalania pociąga za sobą straty energii i wody.

Rozwiązaniem tej sytuacji jest odsalanie świeżej wody, zwłaszcza w instalacjach z niewielką ilością powstającego kondensatu < 50 % i wodą świeżą o dużej przewodności. Odsalanie jest kolejnym etapem przygotowania wody po zmięczeniu, najczęściej stosowaną metodą odsalania jest odwrócona osmoza.

### Obliczanie udziału odsolin (raty odsalania)

Udział odsolin w wydajności kotła można obliczyć na podstawie zmierzonej przewodności wody zasilającej lub przy pomocy parametrów wody uzupełniającej i udziału kondensatu (kondensat z reguły wykazuje małą przewodność o nieistotnym znaczeniu) posługując się wzorem:

$$a = \frac{G_{wz}}{G_{wk} - G_{wz}} \approx \frac{G_{wu} \cdot (1 - c)}{G_{wk} - G_{wu} \cdot (1 - c)}$$



**Wzór 19** Równanie do obliczenia udziału odsolin

a	Udział odsolin w odniesieniu do ilości wody zasilającej [%]
$G_{wz}$	Przewodność wody zasilającej [ $\mu$ S/cm]
$G_{wu}$	Przewodność wody uzupełniającej [ $\mu$ S/cm]
$G_{wk}$	Dopuszczalna przewodność wody kotłowej [ $\mu$ S/cm]
c	Udział (rata) kondensatu

Oprócz przewodności ratę odsalania mogą określać jeszcze inne parametry wody, takie jak zawartość kwasu krzemowego SiO<sub>2</sub> czy twardość (węglanowa) dla wartości granicznej Ks 8,2. Dla rzeczywistego udziału odsolin rozstrzygająca jest zawsze największa ustalona wartość.

W oparciu o powyższy wzór można obliczyć udział odsolin z przewodności poniżej:

	Jednostka	Przewodność	SiO <sub>2</sub>	Ks 8,2
<b>Strumień pary</b>	[kg/h]	10 000	10 000	10 000
<b>Udział odsolin (w odniesieniu do strumienia pary)<sup>1)</sup></b>	[%]	<b>3,27</b>	2,56	3,00
<b>Udział kondensatu c</b>	[%]	50	50	50
<b>Udział świeżej wody</b>	[%]	50	50	50
<b>Wartość w świeżej wodzie</b>	[ $\mu$ S/cm]	380	7,5 [mg/l]	0,7 [mmol/l]
<b>Wartość graniczna wody kotłowej</b>	[ $\mu$ S/cm]	6 000	150 [mg/l]	12 [mmol/l]
<b>Wartość w wodzie zasilającej</b>	[ $\mu$ S/cm]	190	3,75	0,35
<b>Strumień odsolin</b>	[kg/h]	<b>327</b>	256	300
<b>Strumień wody zasilającej</b>	[kg/h]	<b>10 327</b>	10 256	10 300

**Tab. 12** Obliczenie udziału odsolin

1) Udział odsolin oblicza się z największej wartości. W tym przykładzie największą wartość ma przewodność, stąd obliczony udział odsolin 3,27 %.



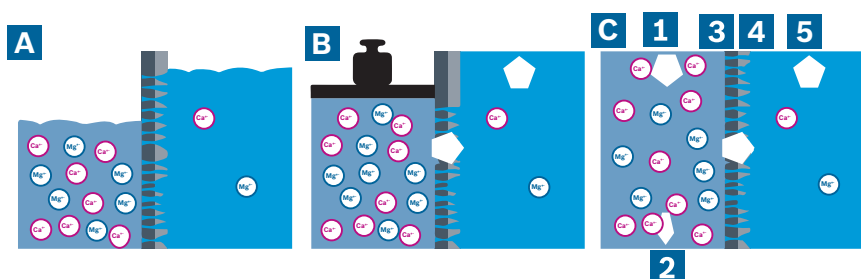
## Odwrócona osmoza

Odwrócona osmoza polega na wymuszonej dyfuzji przez półprzepuszczalną membranę rozdzielającą dwa rozpuszczalniki o różnym stężeniu. Woda, która ma być oczyszczona, wywiera nacisk na membranę, wskutek czego mniejsze cząsteczki wody są w stanie przejść przez pory membrany. Większe jony soli rozpuszczonych w wodzie nie są w stanie przejść przez pory, w wyniku czego woda o większym stężeniu soli zostaje odrzucona i usunięta do kanalizacji. Gdy układ znajduje się w stanie równowagi ciśnienie po stronie koncentratu (retentat) jest wyższe niż po stronie filtratu (permeat), a osmoza przebiega od roztworu o stężeniu mniejszym do roztworu o stężeniu większym. Ciśnienie utrzymujące ten stan równowagi jest nazywane ciśnieniem osmotycznym i jest widoczne jako różnica wysokości.

→ Ryc. 93, strona 185, [A]

W przemysłowym odsalaniu do membrany zostaje przyłożone ciśnienie o większej wartości i skierowane przeciwnie niż ciśnienie osmotyczne, wskutek czego proces osmozy przebiega odwrotnie niż w osmozie spontanicznej od roztworu o większym stężeniu (koncentratu) do roztworu o stężeniu mniejszym. W ten sposób zostają całkowicie odrzucone z wody rozpuszczone sole i substancje organiczne.

→ Ryc. 93, strona 185, [B]



**Ryc. 93** Przedstawienie ciśnienia osmotycznego (A), odwróconej osmozy przez przyłożenie ciśnienia od strony koncentratu (B) i procesu ciągłej osmozy odwróconej (C)

- A** Zilustrowanie ciśnienia osmotycznego
- B** Odwrócona osmoza przez przyłożenie ciśnienia od strony koncentratu
- C** Proces ciągłej osmozy odwróconej
- 1** Woda świeża
- 2** Retentat
- 3** Membrana półprzepuszczalna
- 4** Warstwa nośna
- 5** Filtrat (permeat)



Metoda filtracji	Filtr siatkowy	Filtr drobno-siatkowy	Filtracja cząstkowa	Mikro-filtracja	Ultra-filtracja	Nano-filtracja	Odwrócona osmoza
<b>Granice filtracji</b>	> 500 µm	5 ... 500 µm	1 ... 10 µm	0,1 ... 1 µm	0,01 ... 0,1 µm	0,001 ... 0,01 µm	< 0,001 µm
<b>Usuwane zanieczyszczenia</b>	Ziarna, piasek, włókna	Większe cząsteczki, algi	Małe cząsteczki, pierwotniaki, bakterie, wirusy	Mikro-cząsteczki, pierwotniaki, bakterie, wirusy	Wirusy i substancje molekularne	Substancje drobno-molekularne i huminy	Jony
<b>Metody uzdatniania wody</b>	Cedzenie, cyklony, sedymentacja, oczyszczanie	Filtry tkaninowe	Filtry wielowarstwowe szybkie, filtracja membranowa	Filtry wielowarstwowe wolne, filtracja membranowa	Filtracja membranowa	Filtracja membranowa	Odwrócona osmoza
<b>Granice filtracji</b>	> 1 mm	500 µm	10 µm	1 µm	100 nm	10 nm	1 nm

**Tab. 13** Ogólny przegląd metod filtracji w procesie uzdatniania wody

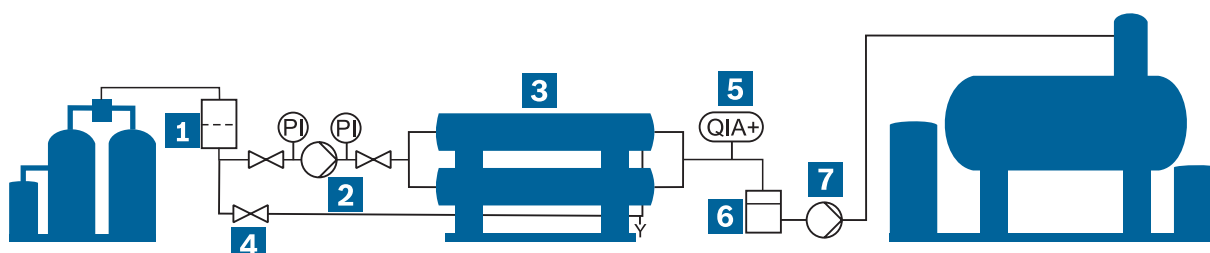
Wytwarzany filtrat jest stale do dyspozycji, a powstały koncentrat można odprowadzić do kanalizacji bez konieczności dalszego uzdatniania.

Warunkiem stosowania odwróconej osmozy jest uprzednie zmiękczenie wody. Woda musi być również oczyszczona i wolna od nierozpuszczonych substancji obcych, w szczególności zanieczyszczeń organicznych, aby uniknąć zablokowania membran.

W procesie odwróconej osmozy zmięczona woda zawierająca minimalną ilość małych jonów jest podawana pod ciśnieniem < 40 bar na membranę półprzepuszczalną. Po przejściu przez membranę cząstki czystej wody tworzą permeat (z łac. permeare – przenikać), odprowadzany do wykorzystania jako woda częściowo odsolona. Permeat stanowi 80 – 95 % użytej wody. Pozostała część wody (5 – 20 %) stanowi zasolony koncentrat zwany również retentantem (z łac. retinere – zatrzymać), który zostaje odprowadzony do kanalizacji.

W trybie ciągłej pracy proces odwróconej osmozy przebiega prawie bez użycia środków chemicznych, zatrzymując ok. 98 % soli. Uzyskiwany permeat ma przewodność poniżej 15 µS/cm. Prawidłowe działanie urządzenia jest monitorowane przez pomiar przewodności w permeacie.

Aby dobrać możliwie najmniejsze urządzenia do odwróconej osmozy, zaleca się zastosowanie zbiornika permeatu, z którego permeat będzie pobierany do odgazowywacza zbiornika wody zasilającej.



Ryc. 94 Schemat przygotowania wody metodą odwróconej osmozy ze zbiornikiem permeatu

- 1 Filtr
- 2 Pompa wysokoprężna
- 3 Moduły odwróconej osmozy
- 4 Obejście
- 5 Monitoring przewodności (QIA+)
- 6 Zbiornik permeatu
- 7 Pompa permeatu

### Odsalanie całkowite

Całkowite odsolenie wody o przewodności  $< 0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$  uzyskuje się w układzie pełnej wymiany jonowej z odgazowyczem  $\text{CO}_2$  pomiędzy jonitami i dodatkowym filtrem ze złożem mieszanym umieszczonym za anionitem. Złoże mieszane jest kombinacją kationitów i anionitów. Aby zoptymalizować proces odsalania całkowitego i ograniczyć zużycie środków regeneracyjnych w fazach przygotowania wody dodatkowo poprzedza się słabo i silnie kwaśne kationity słabo i silnie zasadowymi anionitami. Całkowicie odsolona woda nazywana jest również wodą zdemineralizowaną lub zdejonizowaną.

#### 4.1.4 Odgazowanie termiczne

Zawarte w wodzie zasilającej i kondensacie składniki korozyjne mogą spowodować uszkodzenia zbiornika wody zasilającej, kotła, ekonomizera i sieci rur. Najbardziej niebezpieczne dla instalacji ze względu na silne działanie korozyjne są rozpuszczone w wodzie tlen i dwutlenek węgla.

Korozja tlenowa powoduje powstawanie w materiale dziur o wyglądzie podobnym do blizn. Korozja wżera się coraz głębiej w materiał, typowym obrazem szkody są właśnie wżery.

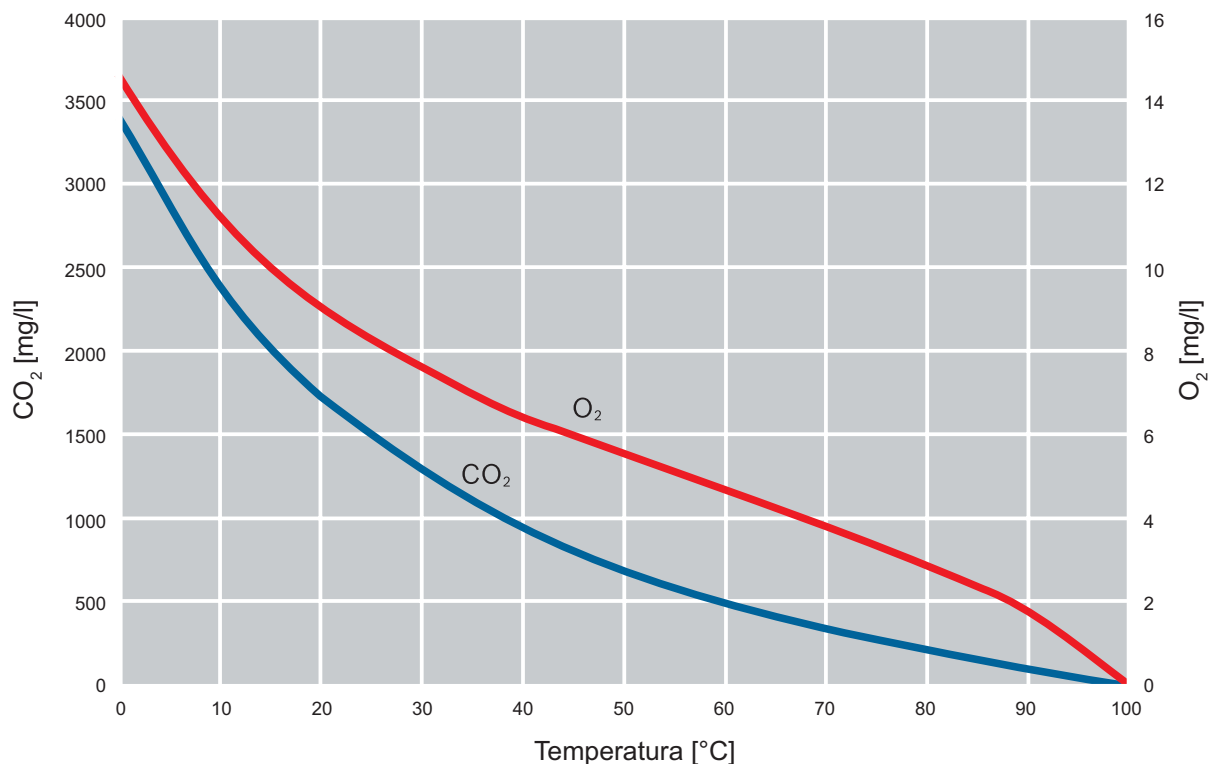


Ryc. 95 Uszkodzenia wywołane korozją tlenową w kotle i rurach

Natomiast korozja wywołana przez dwutlenek węgla ma prawie zawsze charakter względnie powierzchniowy, równomierny.

Termiczne odgazowanie jest najlepszą metodą na trwałe utrzymanie stężeń tlenu i dwutlenku węgla w wodzie zasilającej poniżej szkodliwego poziomu. Metoda termicznego odgazowania wykorzystuje zjawisko zmniejszania się rozpuszczalności gazów w wodzie wraz ze wzrostem temperatury, która spada niemal do zera przy  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Wartości odnoszą się do rozpuszczalności w warunkach równowagi. Aby rzeczywiście nastąpiło wytrącenie gazów, musi być umożliwiona aktywna wymiana między gazami rozpuszczonymi w wodzie i przestrzenią parową zbiornika wody zasilającej. Tak właśnie dzieje się w odgazowywaczach ociekowych (kaskadowych) i rozpylających (sprejowych), gdzie jest wytwarzana duża granica faz umożliwiająca szybkie przenoszenie cząsteczek substancji w fazę gazową. Ponadto woda musi przebywać w zbiorniku przez pewien czas, aby znajdujące się w niej gazy zdążyły się wytrącić.



Ryc. 96 Rozpuszczalność tlenu i dwutlenku węgla w wodzie



Ryc. 97 Moduł przygotowania wody, składający się ze zbiornika wody zasilającej z odgazowywaczem ociekowym, modułów pomp zasilających, zbiornika rozprężnego odmulin i odsolin, modułu dozowania chemicznych środków korygujących i szafy sterowniczej



Świeża woda lub zawierający tlen kondensat są wprowadzane do zabudowanej na zbiorniku wody zasilającej kolumny odgazowywacza. W odgazowywaczu woda spływa kaskadowo po półkach (odgazowywacz ociekowy, kaskadowy) lub jest rozpylana dyszowo (odgazowywacz sprejowy). W przeciwnym kierunku od dołu do góry płynie para grzewcza, która podgrzewa wodę do temperatury wrzenia. Wrzenie wody powoduje wydzielenie się z niej gazów, które są następnie odprowadzane wraz z oparami z górnej części kolumny odgazowywacza.

Duża część ciepła unoszonego z oparami może być oddana do wody uzupełniającej przy użyciu wymiennika ciepła oparów (VC), pozostając w obiegu instalacji parowej.

→ Efektywność – Rozdział 3.2: Opary, strona 282

→ Produkty – Rozdział 4.8: Chłodnica oparów VC, strona 352

### Odgazowanie całkowite

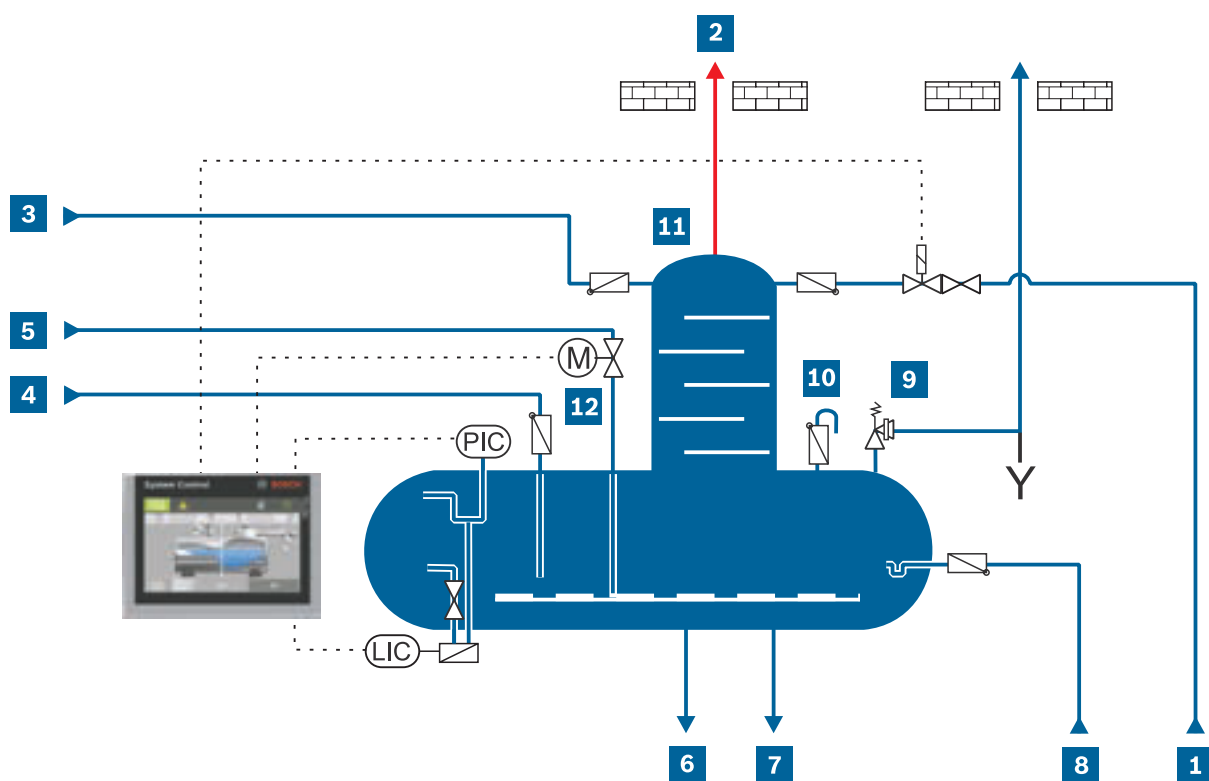
Przy ciśnieniach roboczych w zakresie 0,1 – 0,3 bar i temperaturach powyżej 100 °C musi być niezawodnie utrzymana maksymalna zawartość tlenu w wodzie zasilającej 0,02 mg O<sub>2</sub>/l i maksymalna zawartość dwutlenku węgla 1 mg CO<sub>2</sub>/l, aby można było mówić o całkowitym odgazowaniu.

Chemiczne środki wiążące tlen są stosowane w tym przypadku w bardzo niewielkich ilościach dla zapewnienia, że w wodzie zasilającej nie pozostał żaden tlen resztkowy.

	Odgazowywacz dyszowy	Odgazowywacz ociekowy
<b>Wysokość pomieszczenia</b>	++ Bardzo kompaktowy	– Kolumna odgazowywacza zabudowana na zbiorniku wody zasilającej
<b>Koszty inwestycji</b>	+ Nieduższe	– Nieduższe
<b>Warunki eksploatacyjne odbiegają od warunków projektowych (strumień kondensatu)</b>	– Obciążenie częściowe prawie niemożliwe	++ Bardzo dobrze zachowuje się na obciążeniu częściowym
<b>Stosowanie ciągłej regulacji wody uzupełniającej <sup>1)</sup></b>	– Obciążenie częściowe prawie niemożliwe	++ Bardzo dobrze zachowuje się na obciążeniu częściowym

**Tab. 14** Porównanie odgazowywacza rozpylającego (sprejowego) i ociekowego (kaskadowego)

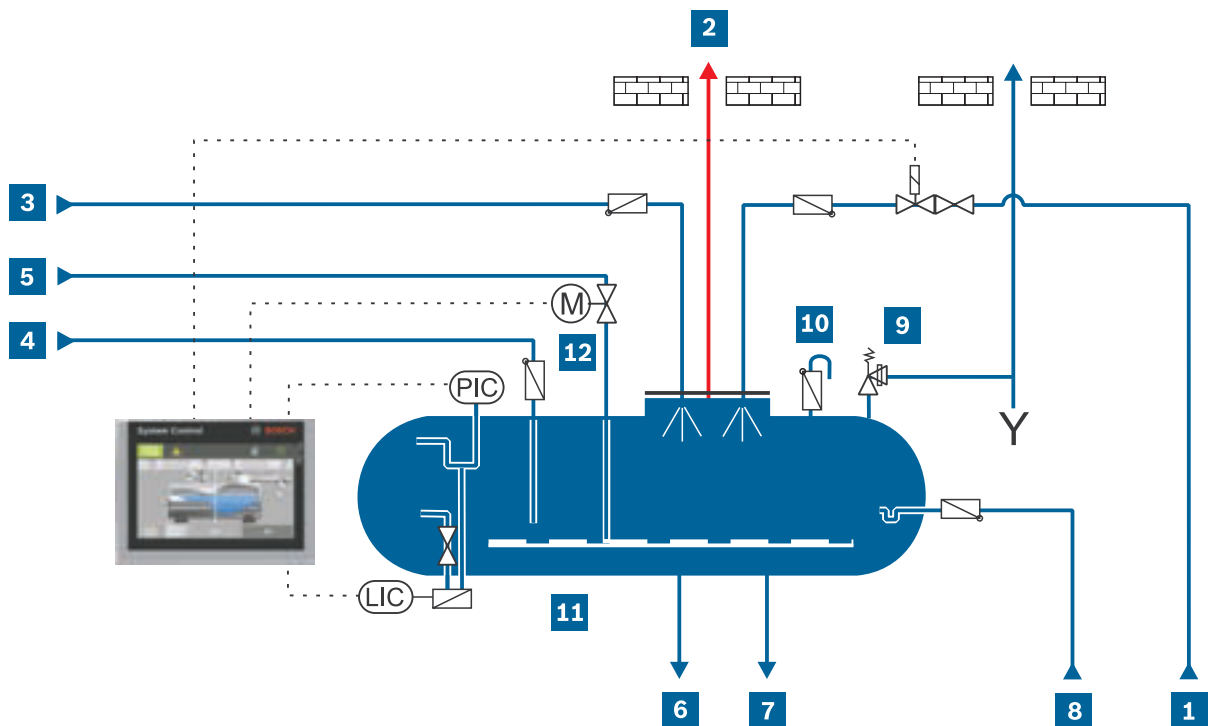
1) Zalecana dla odzysku ciepła z wodą uzupełniająca



Ryc. 98 Odgazowanie całkowite - schemat przewodów rurowych i przyrządów odgazowywacza ociekowego

LIC Przetwornik poziomu  
 PIC Przetwornik ciśnienia

- |                                     |                                             |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>1</b> Woda uzupełniająca         | <b>7</b> Spust                              |
| <b>2</b> Opary                      | <b>8</b> Dozowanie chemii                   |
| <b>3</b> Kondensat zawierający tlen | <b>9</b> Zawór bezpieczeństwa               |
| <b>4</b> Kondensat beztlenowy       | <b>10</b> Łamacz próżni                     |
| <b>5</b> Para grzewcza              | <b>11</b> Odgazowywacz ociekowy (kaskadowy) |
| <b>6</b> Woda zasilająca            | <b>12</b> Zawór regulacyjny pary grzewczej  |



Ryc. 99 Odgazowanie całkowite - schemat przewodów rurowych i przyrządów odgazowywacza rozpylającego

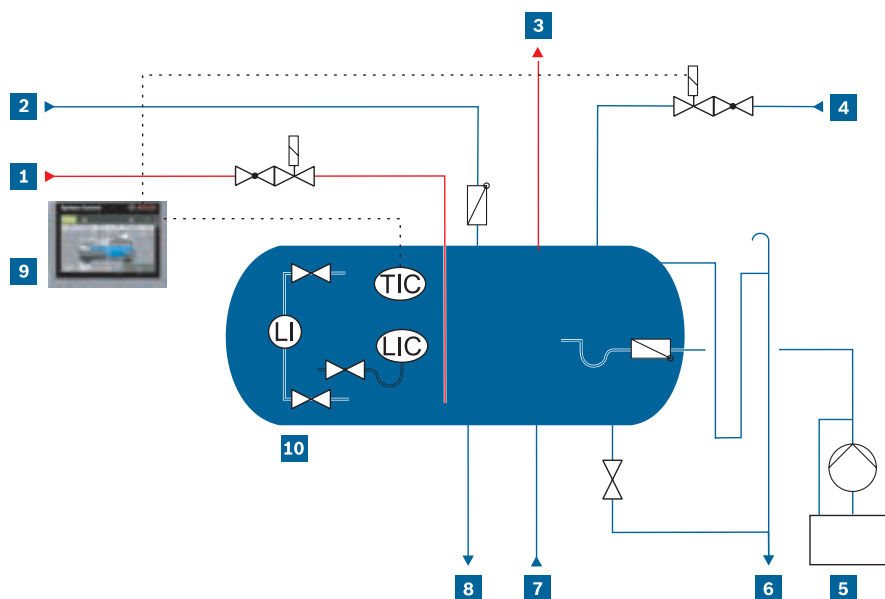
LIC Przetwornik poziomu

PIC Przetwornik ciśnienia

- |                                     |                                               |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>1</b> Woda uzupełniająca         | <b>7</b> Spust                                |
| <b>2</b> Opary                      | <b>8</b> Dozowanie chemii                     |
| <b>3</b> Kondensat zawierający tlen | <b>9</b> Zawór bezpieczeństwa                 |
| <b>4</b> Kondensat beztlenowy       | <b>10</b> Łamacz próżni                       |
| <b>5</b> Para grzewcza              | <b>11</b> Odgazowywacz rozpylający (sprejowy) |
| <b>6</b> Woda zasilająca            | <b>12</b> Zawór regulacyjny pary grzewczej    |

### Odgazowanie częściowe

Gdy odgazowanie odbywa się w temperaturze tylko ok. 90 °C, mówi się o odgazowaniu częściowym, ponieważ w wodzie mogą nadal pozostawać resztki związanych gazów. W tym wypadku używa się więcej środków chemicznych wiążących tlen, aby chemicznie związać przede wszystkim resztkowy tlen, który mógłby spowodować korozję w kotle i innych częściach instalacji parowej.



Ryc. 100 Układ wody zasilającej – odgazowanie częściowe

LI      Wodowskaz  
 LIC     Regulator poziomu  
 TIC     Regulator temperatury

- |                                     |                                                |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>1</b> Przewód pary grzewczej     | <b>6</b> Przewód odpływowy i przelew           |
| <b>2</b> Przewód dopływu kondensatu | <b>7</b> Przewód powrotny wody zasil.(by-pass) |
| <b>3</b> Przewód oparów             | <b>8</b> Przewód wody zasilającej              |
| <b>4</b> Woda uzupełniająca         | <b>9</b> System sterowania                     |
| <b>5</b> Dozowanie chemii           | <b>10</b> Zbiornik wody zasilającej            |

#### 4.1.5 Dozowanie środków chemicznych

Użytkownik instalacji kotłowej musi zadbać o dotrzymanie wymagań dotyczących wody zasilającej i wody kotłowej. Aby parametry wody utrzymać w zadanych granicach, musi ona być dodatkowo uzdatniana z użyciem środków chemicznych.

Dozowanie środków chemicznych ma służyć:

- związaniu resztkowego tlenu
- redukcji korozyjności poprzez ustawienie odpowiedniej wartości pH
- stabilizacji resztkowej twardości
- zapobieganiu odkładaniu się osadów i kamienia kotłowego

Środki chemiczne dozuje się do zbiornika wody zasilającej tak aby uzyskać niezbędny czas na reakcję z wodą wynoszący ok. 30 minut.

Zazwyczaj do wiązania resztkowego tlenu używa się siarczynu sodu, a do wiązania resztkowej twardości i podniesienia wartości pH trójfosforanu sodu.

→ Raport Branżowy FB026: Nowoczesne przygotowanie i analityka wody





## 4.2 Zrzut ścieków

Warunki wprowadzania ścieków do sieci kanalizacyjnej określają właściwe przedsiębiorstwa komunalne. Odczyn pH ścieków musi wynosić pomiędzy 6,5 a 10, a temperatura  $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 4.2.1 Gorące spusty

Gorące i znajdujące się pod ciśnieniem spusty z kotłowni muszą zostać schłodzone przed wprowadzeniem do kanalizacji. Schłodzenie spustów odbywa się w zbiorniku gorących spustów. Gorące spusty są wprowadzane do zbiornika dwoma króćcami (po jednym dla spustów o temperaturze powyżej i poniżej  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). W zbiorniku powstaje para wtórna z rozprężania spustów, która jest odprowadzana przez dach do atmosfery. Pozostający w zbiorniku czynnik jest schładzany do temperatury umożliwiającej odprowadzenie do kanalizacji poprzez domieszkowanie zimnej wody.



Ryc. 101 Moduł rozprężania i schładzania odsolin i odmulin BEM

- 1 Odprowadzenie pary z rozprężenia przez dach
- 2 Pomiar temperatury
- 3 Przyłącze zimnej wody (wraz z zaworem regulacyjnym temperatury)
- 4 Przyłącze do opróżniania
- 5 Króciec spustów  $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 6 Odpływ do kanalizacji
- 7 Króciec spustów  $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Odprowadzając spusty tracone jest ciepło o temperaturze ok.  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ciepło to można odzyskać i wykorzystać instalując moduł odzysku ciepła, który zamortyzuje się w ciągu krótkiego czasu.

→ Efektywność – Rozdział 3.1: Odsalanie i odmulanie, strona 279

#### 4.2.2 Zrzut ścieków – kondensat spalin

Kondensat spalin powstaje czasowo (w trybie rozruchu kotła ze stanu zimnego) i w sposób ciągły przy stosowaniu ekonomizera kondensacyjnego. Ten kondensat jest kwaśny ( $\text{pH} < 4$ ) i przed zrzutem do sieci kanalizacyjnej musi być zneutralizowany.

W zależności od ilości powstającego kondensatu można używać neutralizatora z granulatem lub płynem neutralizującym.



Ryc. 102 Neutralizatory kondensatu spalin (z lewej z zastosowaniem granulatu, z prawej z zastosowaniem płynu)

### 4.3 Uzdatnianie, kolektorowanie i akumulacja pary

#### 4.3.1 Osuszanie pary

O tzw. jakości pary świadczy ilość zawartej w niej wilgotności resztkowej. Pożądane jest uzyskanie pary o jak najmniejszej wilgotności resztkowej. Osuszacz pary pomaga odseparować małe kropelki wody od pary, a wraz z nią również niesione sole i inne zanieczyszczenia.

Bezpośrednio na wylocie z kotła parowego umieszcza się blaszany separator. Separator wykorzystujący system przegród wymusza zmianę kierunku strumienia pary, powodując w efekcie zderzenia, wytrącenie się kropelek wody z pary i ich powrót do przestrzeni wodnej. W trybie normalnej pracy kotła ten sposób osuszania pary pozwala zredukować zawartość wilgotności resztkowej do 1 – 3 %. Dla większości zastosowań para o takich parametrach jest wystarczająca.

Jednak w przypadku gwałtownych wahań zapotrzebowania na parę na odbiorach lub korzystania z modułu przegrzewacza konieczne jest lepsze osuszenie pary, które można uzyskać stosując separator siatkowy. Separator siatkowy jest zbudowany z pakietów siatek wykonanych z drutu i umieszczany pod króćcem wylotowym pary. Pozwala na zredukowanie wilgotności resztkowej w parze do ok. 0,1 %.



Ryc. 103 Separator siatkowy - w takiej postaci jest umieszczany w kotłach parowych bezpośrednio pod króćcem wylotu pary



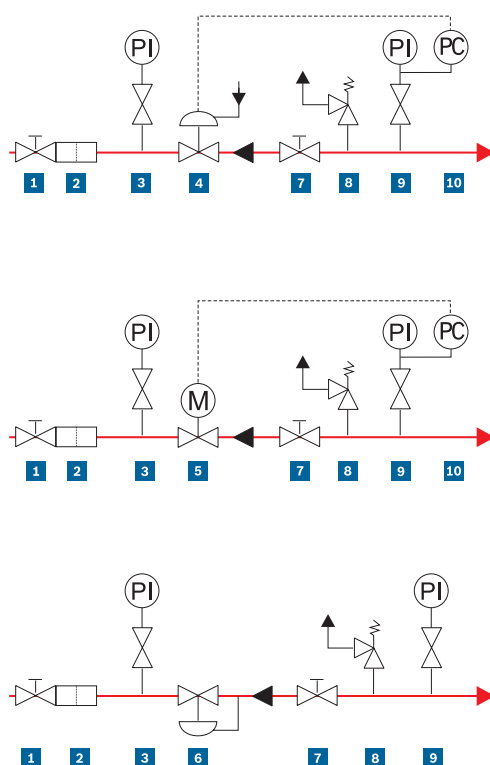
Straty ciepła, jakie powstają przy przesyłaniu pary rurociągiem od źródła pary do odbiorników, powodują częściową kondensację. Celowe może zatem być umieszczenie także bezpośrednio przed odbiornikami, zwłaszcza jeśli para jest przeznaczona do suszenia, separatora odśrodkowego. W separatorze odśrodkowym strumień pary jest wprowadzany w ruch wirowy, który powoduje oddzielenie cięższych kropeł wody pod wpływem działania sił odśrodkowych i odrzucenie ich na zewnątrz na ściankę. W dolnej części separatora następuje zmiana kierunku wirowania o 180°, wspomagając efekt działania sił odśrodkowych. W rezultacie separator opuszcza para z wilgotnością resztkową < 0,5 %.

### 4.3.2 Redukcja ciśnienia pary

Redukcję ciśnienia pary stosuje się z różnych powodów:

- w przypadku wahań ciśnienia w kotle parowym do stabilizacji ciśnienia przed odbiornikami pary,
- w celu oddzielenia silnych skoków zużycia pary przez odbiorniki od regulacji mocy bezpośrednio w kotle,
- gdy odbiorniki wymagają pary o różnych ciśnieniach,
- gdy odbiorniki mają niższe niż kocioł maksymalne dopuszczalne nadciśnienie.

Redukcja ciśnienia pary jest realizowana przez tzw. stacje redukcji ciśnienia, które mogą być sterowane przez siłowniki pneumatyczne, napędy silnikowe lub za pośrednictwem medium sterującego. Te ostatnie nie potrzebują do działania dodatkowej energii ani komponentów elektrycznych, ale za to charakteryzują się gorszą jakością regulacji niż reduktory sterowane silnikiem lub pneumatycznie.



Ryc. 104 Stacje redukcji ciśnienia pary (pneumatyczna, silnikowa, sterowana przez czynnik)

- |                                            |                                                     |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>1</b> Zawór odcinający (przed redukcją) | <b>6</b> Zawór regulacyjny (sterowany przez medium) |
| <b>2</b> Filtr                             | <b>7</b> Zawór odcinający (za redukcją)             |
| <b>3</b> Manometr (przed redukcją)         | <b>8</b> Zawór bezpieczeństwa                       |
| <b>4</b> Zawór regulacyjny (pneumatyczny)  | <b>9</b> Manometr (za redukcją)                     |
| <b>5</b> Zawór regulacyjny (silnikowy)     | <b>10</b> Przetwornik ciśnienia                     |

### 4.3.3 Kolektor pary

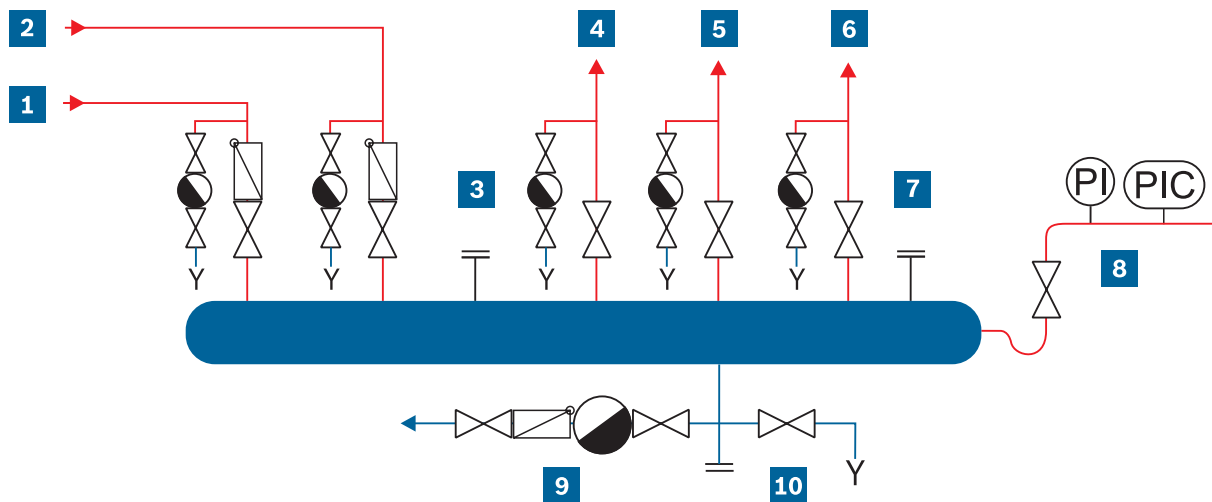
Zadaniem kolektora pary jest gromadzenie pary wytworzonej przez jeden lub więcej kotłów w jednym centralnym miejscu (zazwyczaj w kotłowni), a następnie dystrybucja pary do poszczególnych odbiorników w zakładzie oraz do podgrzania wody zasilającej.

Na drodze od kotła do odbiorników strumień pary jest zmuszony do zmiany kierunku o 180°, przez co następuje dodatkowo osuszenie pary poprzez wytrącenie resztkowej wilgotności.

Zazwyczaj na rozdzielaczu pary jest również mierzone ciśnienie do kaskadowego sterowania układem kotłów w oparciu o sygnał ciśnieniowy.

Korzyści:

- kolektorowanie w jednym miejscu pary wytworzonej przez kotły
- dystrybucja pary do poszczególnych odbiorników
- sterowanie kaskadą kotłów
- osuszanie pary, wytrącenie resztkowej wilgotności



Ryc. 105 Schemat rozdzielacza pary

- |                                                                      |                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> Przewód doprowadzający parę z kotła 1                       | <b>7</b> Rezerwowy króciec dla dalszych odbiorów                     |
| <b>2</b> Przewód doprowadzający parę z kotła 2                       | <b>8</b> Manostat z manometrem (PI) i przetwornikiem ciśnienia (PIC) |
| <b>3</b> Rezerwowy króciec dla dodatkowych kotłów                    | <b>9</b> Przewód kondensatu do zbiornika kondensatu                  |
| <b>4</b> Przewód odprowadzający parę do odbiornika 1                 | <b>10</b> Opróżnianie                                                |
| <b>5</b> Przewód odprowadzający parę do odbiornika 2                 |                                                                      |
| <b>6</b> Przewód odprowadzający parę do odgazowania wody zasilającej |                                                                      |

### 4.3.4 Moduł akumulacji pary

Moduł ten służy do akumulowania pewnej ilości energii, która jest wyzwana w czasie obniżenia ciśnienia i jest możliwa do wykorzystania jako para wtórna z rozprężenia.

→ Technika – Rozdział 1.1.7: Para wtórna z rozprężenia, strona 108

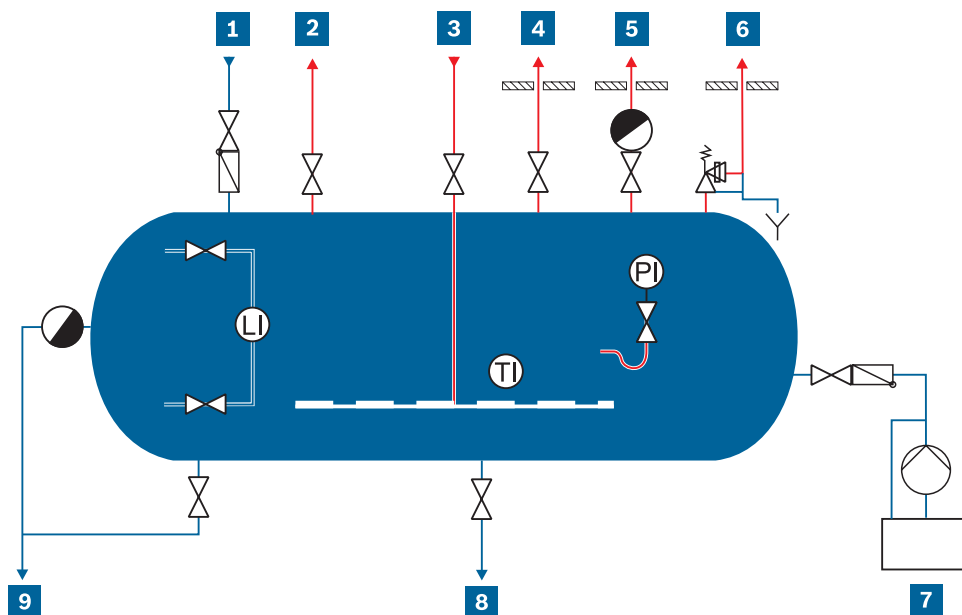


Moduł akumulacji pary wykorzystuje się:

- do wyrównywania pików obciążenia przy krótkotrwałym przeciążeniu kotła parowego (np. przy rozruchu odbiorników pary, autoklawów, w technologii procesów wsadowych)
- do zrównoważenia znacznych wahań poboru przez odbiorców o dużym cyklicznym zapotrzebowaniu na parę (np. w przypadku krótkotrwałych, regularnie występujących szczytów zużycia pary, wielu małych procesów wsadowych)



Ryc. 106 Moduł akumulacji pary



Ryc. 107 Schemat orurowania modułu akumulacji pary SAM

LI Poziomowskaz  
 PI Manometr  
 TI Wskaźnik temperatury

- |                                                  |                                                   |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>1</b> Przewód zasilający                      | <b>6</b> Przewód wydmuchowy zaworu bezpieczeństwa |
| <b>2</b> Przewód odprowadzający parę do odbiorów | <b>7</b> Dozowanie chemii                         |
| <b>3</b> Przewód pary grzewczej                  | <b>8</b> Przewód do poboru próbek                 |
| <b>4</b> Zawór rozruchowy                        | <b>9</b> Opróżnianie i przelew                    |
| <b>5</b> Przewód odpowietrzający                 |                                                   |

Korzyści wypływające z właściwego korzystania z modułu akumulacji pary:

**Dla kotła:**

- Ograniczenie wahań ciśnienia w kotle, przez co zmniejszają się obciążenia mechaniczne i wydłuża żywotność walczaka
- Rzadsze zapłony palnika, przez co zmniejszają się straty energii zużywanej na przewietrzanie poprzedzające każdy zapłon i wydłuża się żywotność kotła

**Dla odbiorów pary:**

- Dodatkowa para dostępna na pokrycie największych szczytów zapotrzebowania. Umożliwia to dobór mniejszego kotła parowego
- Rzadsze występowania zjawiska porywania cząstek wody przez parę, przez co para ma lepszą jakość

Moduł akumulacji pary ma postać zbiornika o grubych ścianach, zaprojektowanych specjalnie pod kątem dużych obciążeń wskutek działania zmian ciśnienia. Podobnie jak kotły parowe również moduł akumulacji pary podlega dozorowi technicznemu i okresowym badaniom (próbom ciśnieniowym) przez właściwy urząd dozoru technicznego.

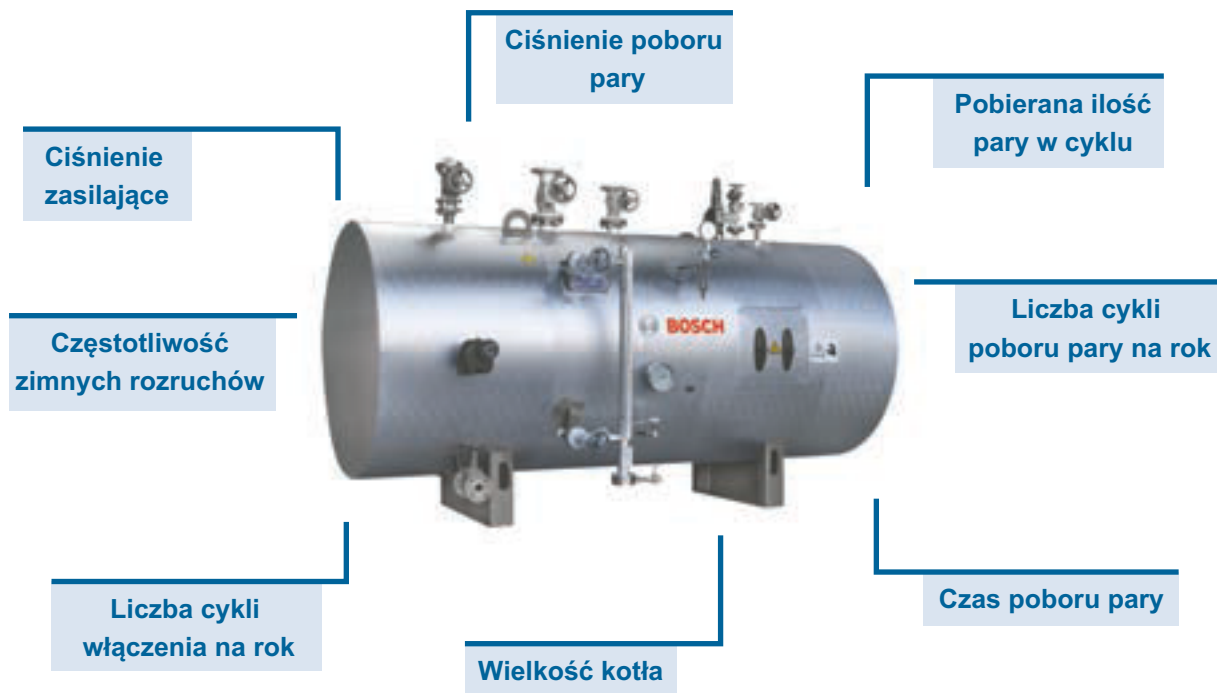
Zbiornik jest w ok. 50 % wypełniony wrzącą wodą i jest ogrzewany parą do osiągnięcia ciśnienia zasilającego.

Zbiornik opróżnia się poprzez otwarcie urządzeń odcinających od strony odbiornika pary. Wskutek spadku ciśnienia część wrzącej wody odparowuje i powstaje para wtórna. Energia cieplna powstająca przy rozprężeniu jest tym większa im większe są pojemność zbiornika i spadek ciśnienia

→ Technika – Rozdział 1.1.7: Para wtórna z rozprężenia, strona 108

W trakcie ponownego podgrzewania do zbiornika zostaje wpuszczona taka sama ilość pary, jaka przedtem została z niego pobrana. Z reguły do już pracującego modułu pary nie trzeba wpuszczać dodatkowej wody w celu uzupełnienia.

Możliwość wykorzystania modułu akumulacji pary można rozważyć nie tylko w nowobudowanych instalacjach kotłowych, ale także w ramach modernizacji starszych kotłowni. Decydując się na moduł akumulacji pary trzeba jednak dokładnie przyjrzeć się całej instalacji parowej od kotła parowego aż po odbiorniki, gdyż tylko optymalne dopasowanie wszystkich komponentów przyniesie pożądane korzyści. Na poniższej ilustracji przedstawiono parametry procesów i kotła, jakie należy wziąć pod uwagę planując moduł akumulacji pary.

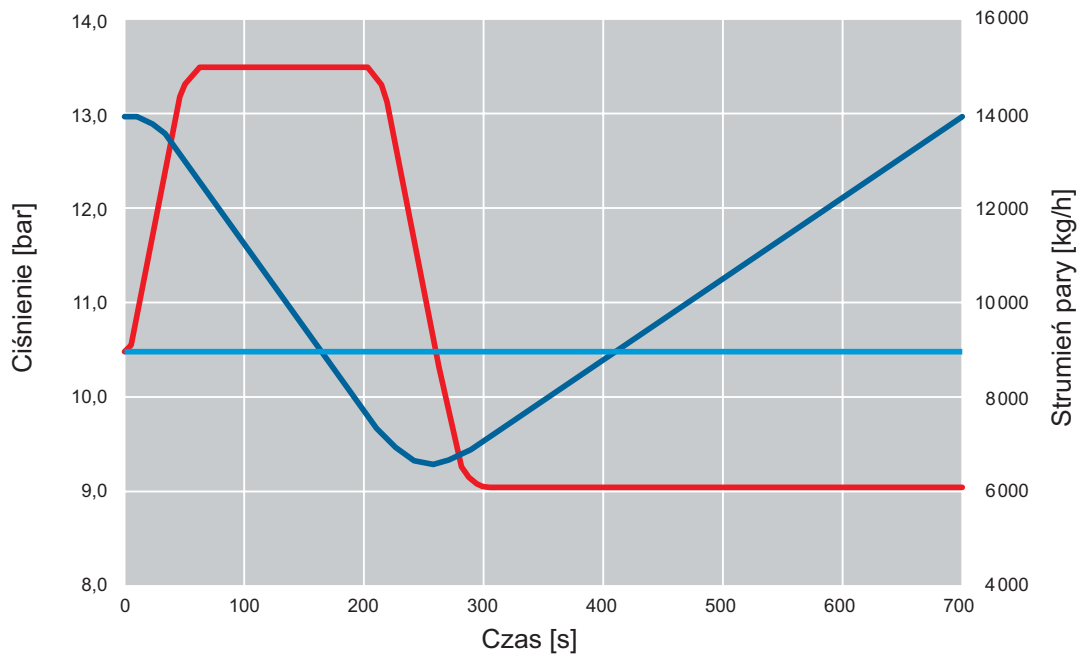


Ryc. 108 Kryteria istotne dla wymiarowania planowanego modułu akumulacji pary

Przykład 1: piki zużycia pary przekraczają moc zainstalowanych źródeł ciepła	Przykład 2: cyklicznie podwyższone zapotrzebowanie na parę
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kocioł 9000 kg/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kocioł 9000 kg/h</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pik zużycia 15 000 kg/h, ogółem ok. 350 kg przez 260 s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pik zużycia 11 500 kg/h, ogółem ok. 28 kg przez 51 s, cyklicznie co 92 s</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zbiornik akumulacyjny pary 20 m<sup>3</sup>, wypełniony wodą w 65 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zbiornik akumulacyjny pary 5 m<sup>3</sup>, wypełniony wodą w 50 %</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dozwolona resztkowa wilgotność w parze do 5 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resztkowa wilgotność w parze &lt; 2 %</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dopuszczenie pary do zbiornika po 700 s</li> </ul>	<p>–</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciśnienie zasilające 13 bar, poboru ≤ 9,3 bar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciśnienie zasilające 12 bar, poboru ≤ 10,5 bar</li> </ul>
Kalkulacja uproszczona w warunkach idealnych	Kalkulacja uproszczona w warunkach idealnych

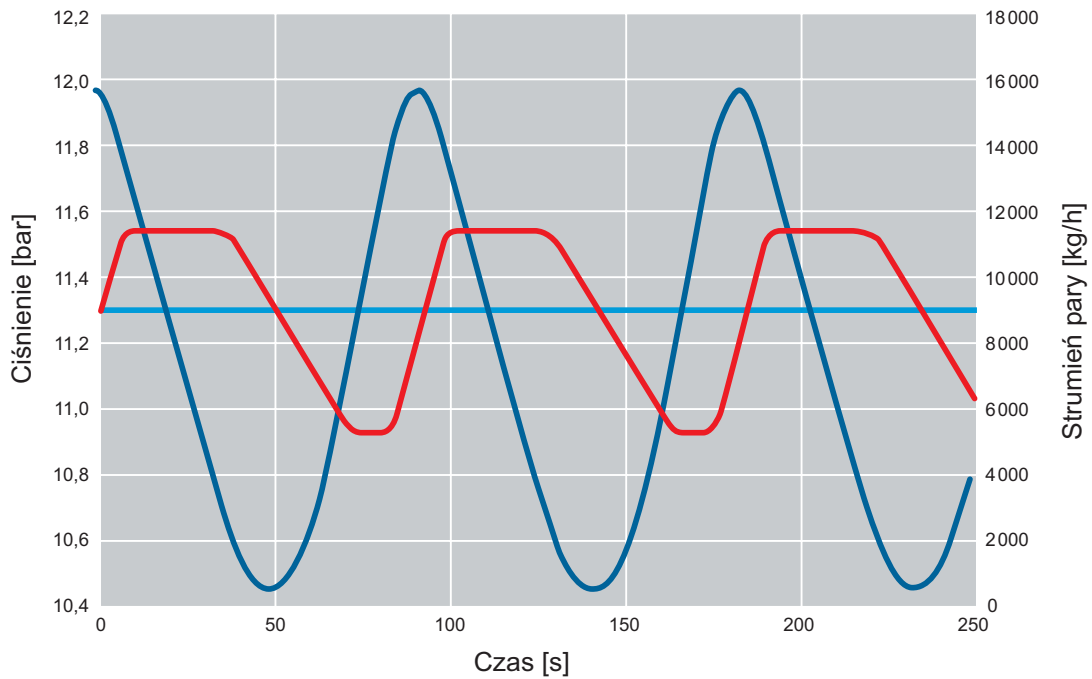
Tab. 15 Przykłady zastosowania modułu akumulacji pary





Ryc. 109 Przebieg ciśnienia w akumulatorze pary (Przykład 1)

- Ciśnienie w akumulatorze pary
- Pobór pary przez odbiorniki
- Wydajność kotła parowego



Ryc. 110 Przebieg ciśnienia w zbiorniku akumulacyjnym pary (Przykład 2)

- Ciśnienie w akumulatorze pary
- Pobór pary przez odbiorniki
- Wydajność kotła parowego



## 4.4 Gospodarka kondensatem

We wszystkich wymiennikach ciepła bezpośrednio wykorzystujących parę jako czynnik nośny energii tworzy się kondensat, który w miarę możliwości powinien być zawracany do obiegu kotłowego lub wykorzystany w inny sposób.

Powtórne wykorzystanie powstałego kondensatu jest jednym z najważniejszych metod pozwalających znacznie zmniejszyć koszty eksploatacji i podnieść efektywność energetyczną kotłowni parowej.

Dwie właściwości czynią kondensat szczególnie wartościowym:

- **wysoka temperatura**

Kondensat odprowadzany z wymienników ciepła zazwyczaj jest tylko lekko przechłodzony, a więc nadal ma wysoką temperaturę. Gdy kondensat jest zawracany do kotłowni, ta zawarta w nim energia pozostaje w obiegu i nie musi być dostarczana na nowo.

- **kondensat to już uzdatniona woda**

Kondensat to już przygotowana, pozbawiona twardości woda wykazująca niewielką przewodność. Zawrótanie kondensatu do obiegu kotłowego oznacza oszczędność wody uzupełniającej. Mniej wody trzeba zmiękczać i odsalać, co oznacza mniejsze zużycie energii i środków chemicznych na ten cel. Mniejsze urządzenia do zmiękczenia i korekcji chemicznej to kolejna oszczędność kosztów.

Kondensat można wykorzystać na różne sposoby:

- **jako już podgrzaną wodę do zasilania kotła**

gdy kondensat jest transportowany przewodami kondensatu z powrotem do zbiornika wody zasilającej albo od razu do kotła.

- **jako woda gorąca**

do procesów wymagających czynnika o niższej temperaturze, np. mycia.

- **do wytwarzania pary**

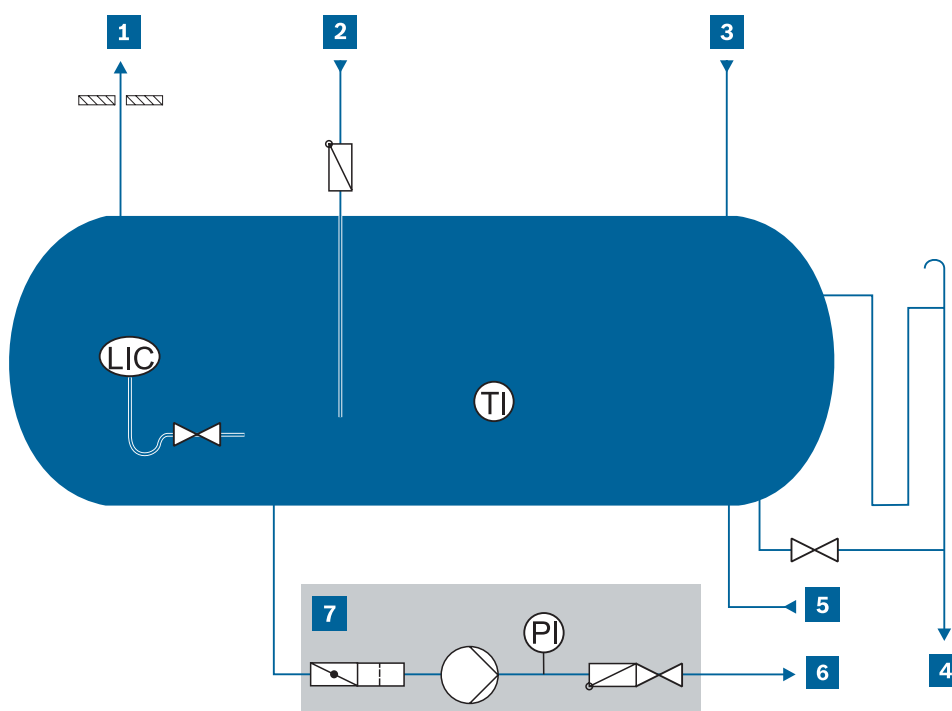
przez rozprężanie kondensatu. Otrzymaną w ten sposób tzw. parę wtórną mogą wykorzystać odbiorniki w niskociśnieniowej części sieci.

Zanim kondensat zostanie powtórnie wykorzystany, musi być sprawdzony pod kątem jego zanieczyszczenia i zgromadzony w zbiorniku, skąd następnie zostaje przetransportowany z powrotem do obiegu kotłowego. System kondensatu może pracować w układzie otwartym lub zamkniętym.

Różnice między układem otwartym i zamkniętym powrotu kondensatu naświetla poniższa tabela:

	<b>Układ otwarty Kondensat pod niskim ciśnieniem</b>	<b>Układ zamknięty Kondensat pod wysokim ciśnieniem</b>
<b>Zbiornik kondensatu</b>	Zbiornik niskociśnieniowy (0,5 – 1 bar) z przewodem odpowietrzającym do atmosfery	Zbiornik wysokociśnieniowy. Utrzymanie ciśnienia w zbiorniku przez parę ogrzewającą lub zawór nadmiarowy
<b>Tlen w kondensacie</b>	Kondensat zawiera tlen (kontakt z tlenem zawartym w powietrzu, konieczne powtórne odgazowanie)	Sauerstoffreies Kondensat
<b>Temperatura zwracanego kondensatu</b>	≤ 100 °C	> 100 °C
<b>Powrót kondensatu</b>	Przez zbiornik wody zasilającej	Pompa zasilająca wysokotemperaturowa
<b>Pompowanie kondensatu</b>	Pompy kondensatu	Niepotrzebne
<b>Opary</b>	Możliwe (przede wszystkim przy wysokiej temperaturze na odbiorach)	Brak
<b>Podłączenie do systemu</b>	Proste	Bardziej skomplikowane
<b>Koszty inwestycji</b>	Niskie	Wyższe
<b>Zaoszczędzona energia</b>	Niższa	Wysoka
<b>Materiał rur</b>	Stal nierdzewna	Stal
<b>Wykorzystanie kondensatu</b>	Woda do zasilania kotła (powrót do zbiornika wody zasilającej celem odgazowania)	Woda do zasilania kotła (powrót bezpośrednio do kotła)
<b>Wykorzystanie pary z rozprężenia</b>	Często pozostaje niewykorzystana. W wymienniku ciepła oparów do podgrzewania wody uzupełniającej lub technologicznej	W niskociśnieniowej części sieci parowej. Do ogrzewania zbiornika wody zasilającej

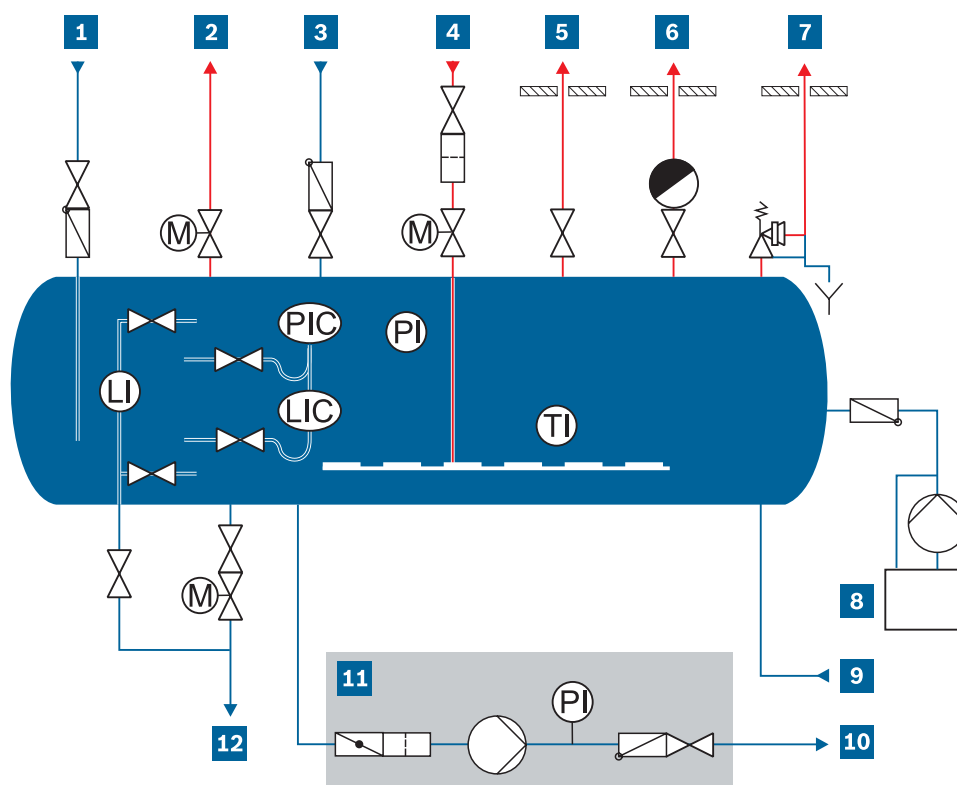
**Tab. 16** Porównanie otwartego i zamkniętego układu kondensatu



Ryc. 111 Schemat niskociśnieniowego zbiornika kondensatu

**LIC** Regulator poziomu  
**TI** Wskaźnik temperatury  
**PI** Manometr

- |                                                 |                                           |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>1</b> Przewód odpowietrzający                | <b>5</b> Przewód powrotny (by-pass pompy) |
| <b>2</b> Przewód kondensatu wysokociśnieniowego | <b>6</b> Przewód do modułu odgazowywacza  |
| <b>3</b> Przewód kondensatu niskociśnieniowego  | <b>7</b> Moduł pomp kondensatu            |
| <b>4</b> Przewód upustowy i przelew             |                                           |



Ryc. 112 Schemat zbiornika wysokociśnieniowego kondensatu

- LI Wodowskaz
- LIC Regulator poziomu
- M Silnik
- PI Manometr
- PIC Regulator ciśnienia

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b> Przewód doprowadzający kondensat wysokociśnieniowy</li> <li><b>2</b> Przewód odprowadzający nadmiar pary</li> <li><b>3</b> Przewód dopływowy wody uzupełniającej</li> <li><b>4</b> Przewód pary grzewczej</li> <li><b>5</b> Przewód rozruchowy</li> <li><b>6</b> Przewód rozruchowy</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>7</b> Przewód wydechowy zaworu bezpieczeństwa</li> <li><b>8</b> Dozowanie środków chemicznych</li> <li><b>9</b> Przewód powrotny (by-pass pompy)</li> <li><b>10</b> Przewód do kotła</li> <li><b>11</b> Moduł pomp kondensatu wysokociśnieniowego</li> <li><b>12</b> Przewód upustowy</li> </ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## 4.5 Monitoring parametrów wody

Utrzymanie właściwych parametrów wody jest niezbędnym warunkiem bezawaryjnego i bezpiecznego działania kotłowni parowej.

Pod stałą kontrolą należy mieć jakość:

- wody kotłowej
- wody zasilającej
- wody uzupełniającej
- kondensatu

Oprócz ciągłego monitorowania parametrów wody podczas eksploatacji kotła należy przeprowadzać okresowe analizy próbek wody pobranych z różnych miejsc w instalacji:

- próbki wody kotłowej (pH, przewodność, zawartość tlenu)
- próbki wody zasilającej (pH, przewodność, zawartość tlenu)
- próbki wody uzupełniającej (pH, przewodność, zawartość tlenu)

→ Technika – Rozdział 2.2: Wyposażenie i regulacja, strona 123

### 4.5.1 Kondensat

Powtórne wykorzystanie kondensatu niesie ze sobą ryzyko przedostawania się do kotła parowego wraz z kondensatem obecnych w nim zanieczyszczeń w postaci wtrąceń produktów z wymienników ciepła. Substancje te mogą wyrządzić poważną szkodę, czemu zapobiegać ma kontrola jakości wody.

Są to substancje dwojakiego rodzaju:

- wpływające na zmianę przewodności kondensatu, które mogą być kontrolowane przez elektrody przewodności,
- wywołujące zmętnienie/załamanie światła, które mogą być kontrolowane przez czujniki mętności.

### 4.5.2 Kontrola przewodności

Wtrącenia substancji obcych do układu kondensatu, które powodują podwyższenie przewodności kondensatu (np. ługi, kwasy, świeża nieuzdatniona woda, woda z wanien w procesach gotowania), są szybko i bezbłędnie wychwytywane przez systemy do kontroli przewodności. Przyrządy dokonują pomiaru przewodności i informują o przekroczeniu jej wartości granicznej. System automatycznie uruchamia niezbędne działania zaradcze. Przyrządy zawierają układ automatycznej kompensacji temperatury zapobiegający błędnym sygnałom w razie wystąpienia wahań temperatury.

Systemy te są stosowane w instalacjach kotłowych do kontroli kondensatu lub wody zasilającej.

Jeżeli przewodność w kondensacie przekroczy wartość 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , należy natychmiast wyeliminować taki kondensat, np. zaworem 3-drożnym. To pozwoli wykluczyć zagrożenia ze strony kondensatu dla wody zasilającej, a co za tym idzie także dla kotła parowego, jeszcze przed wlotem kondensatu do zbiornika wody zasilającej. Sam kocioł nie musi zostać wyłączony, a poszukiwanie przyczyny zakłócenia w układzie kondensatu lub wymiennikach ciepła może odbyć się bez pośpiechu. Należy jednak zwrócić uwagę na to, aby pomiar obejmował wszystkie strumienie kondensatu.

#### 4.5.3 Kontrola twardości resztkowej

Zmiękczona woda jest monitorowana przez urządzenie do kontroli twardości resztkowej. Nieprzeprowadzona regeneracja złoża jonowymiennego w zmiękczaczu czy przepływ wody powyżej dopuszczalnej wartości dla zmiękczacza mogą być przyczyną pojawienia się twardości za stacją zmiękczania. Aby tego uniknąć twardość resztkowa jest kontrolowana: w sposób ciągły lub też nieciągły. Jeśli przez określony czas będzie przekroczona wartość graniczna 0,01 mmol/l, urządzenie automatycznie zaszygnalizuje ten fakt alarmem, aby chronić kolejne części instalacji.

#### 4.5.4 Kontrola zmętnienia

W sytuacji gdy zachodzi ryzyko, że do układu kondensatu mogą przedostawać się oleje, tłuszcze lub inne emulsje, należy dodatkowo do pomiaru przewodności stosować pomiar zmętnienia. Optyczny miernik mętności monitoruje w sposób ciągły zawartość cząstek w kondensacie. Miernik powinien być zainstalowany, jeśli to możliwe, przed zbiornikiem kondensatu, ponieważ świeża para albo parowanie wtórne mogą wpływać na wyniki pomiaru. Jeśli zostanie przekroczona ustawiona wartość zadana, należy także w tym przypadku wyeliminować taki kondensat, dopóki mierzona mętność nie spadnie ponownie poniżej wartości zadanej.

#### 4.5.5 Ciągła analiza wody



Ryc. 113 Analizator wody WA

Bezawaryjne działanie kotła zależy w dużej mierze od dobrej jakości wody. Analizator wody dokonuje ciągłego pomiaru i monitorowania następujących parametrów:

- pH w wodzie kotłowej
- pH, zawartości tlenu i przewodności w wodzie zasilającej kocioł
- pH i przewodności w kondensacie lub wodzie wypełniającej akumulator pary

Wszystkie dane są przesyłane magistralą komunikacyjną do systemu zarządzania instalacją SCO. SCO posiada wszystkie istotne parametry wody łącznie z przewodnością wody kotłowej i przewodnością każdego przepływającego kondensatu. W zależności od potrzeb funkcje regulacji i sterowania mogą być realizowane całkowicie automatycznie. W razie przekroczenia ustalonych wartości granicznych wszystkie parametry zostają wysłane do pamięci komunikatów błędów. Dane mogą być też stale archiwizowane.

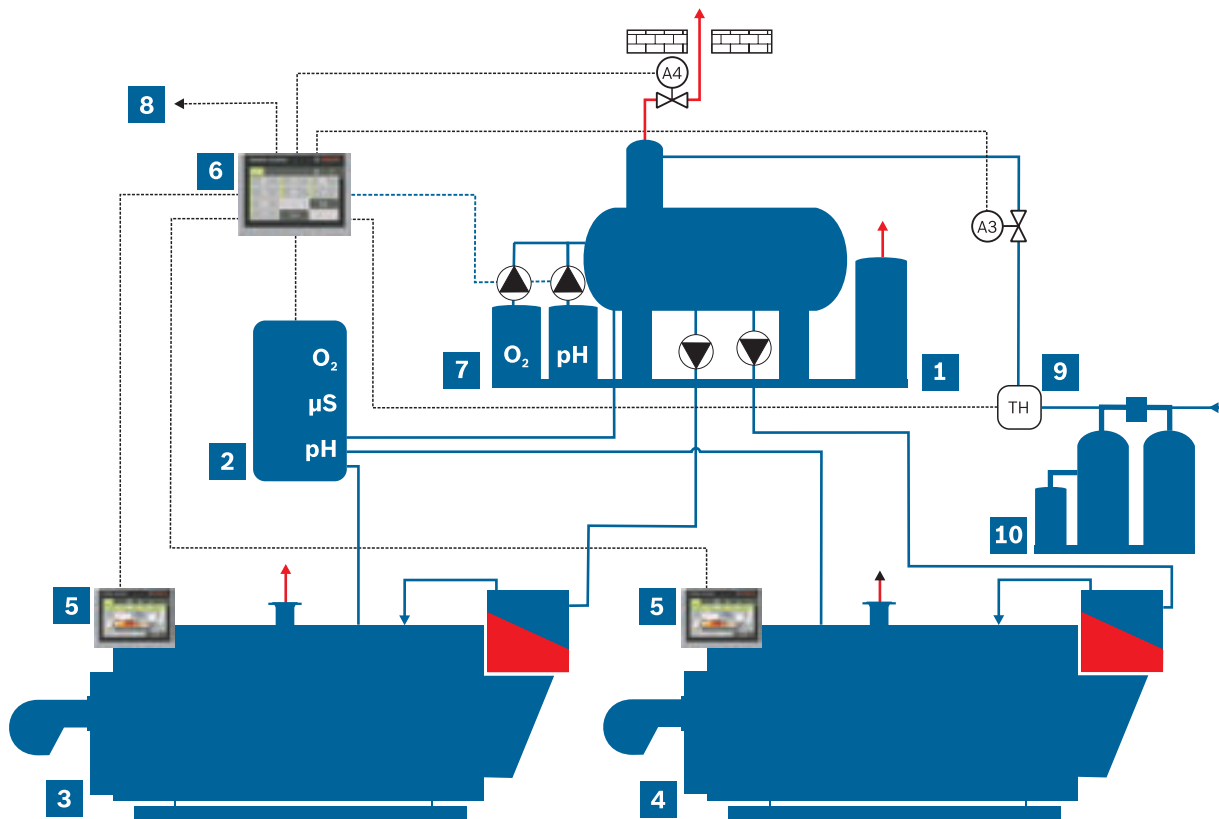




Dane te mogą być przesyłane magistralą komunikacyjną do nadrzędnego systemu sterowania i tam dalej przetwarzane.

Funkcje analizatora wody:

- bezstopniowe sterowanie dozowaniem środków wiążących tlen
- bezstopniowe sterowanie dozowaniem środków alkalinizujących
- sterowanie zaworem oparów oraz wskazanie zaoszczędzonej energii zawartej w oparach [kWh]



Ryc. 114 Schemat działania systemu przygotowania wody

- |                                         |                                            |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>1</b> Moduł przygotowania wody WSM-V | <b>6</b> System zarządzania instalacją SCO |
| <b>2</b> Analizator wody WA             | <b>7</b> Dozowanie środków chemicznych     |
| <b>3</b> Kocioł parowy 1                | <b>8</b> Nadrzędny system monitoringu      |
| <b>4</b> Kocioł parowy 2                | <b>9</b> Softcontrol TH (opcjonalnie)      |
| <b>5</b> Sterowanie kotłem BCO          | <b>10</b> Stacja uzdatniania wody          |

→ Technika – Rozdział 4.15: Analizator wody WA, strona 359

## 4.6 System zarządzania instalacją SCO

**System Control SCO** do sterowania systemem kotowym

System zarządzania instalacją SCO łączy w jednym ogólnym systemie zarządzania sterowanie kotłami parowymi/wodnymi wysokotemperaturowymi oraz indywidualnymi modułami, otwierając wiele nowych możliwości.

Komunikacja pomiędzy systemami sterowania poszczególnych kotłów BCO, innymi sterownikami a SCO odbywa się wydajną magistralą systemową. Rozbudowane okablowanie i separacja sygnałów nie są dzięki temu konieczne. Podłączenie do nadrzędnego systemu wizualizacji i centralnego sterowania procesami jest możliwe z wykorzystaniem rozmaitych protokołów komunikacji, jak np. Profibus, Modbus TCP/IP czy BACnet.

Do podstawowych funkcji systemu można dodać usługę MEC Remote do zdalnego monitorowania instalacji.

### Konstrukcja

Oparty o sterowniki programowalne system sterowania z kolorowym panelem dotykowym TFT.

### Zakres wyposażenia

- Sterowanie kaskadą kotłów
- Integracja z systemem analizy wody
- Integracja z systemami odgazowania
- Integracja z systemami zwrotu kondensatu
- Integracja z systemami monitoringu substancji obcych
- Integracja z systemami zasilania olejem
- Szeroki zakres sterowania ciśnieniem i temperaturą
- Sterowanie pompami rezerwowymi z automatycznym przełączaniem dla kilku kotłów

### Korzyści

- Łatwość połączenia z nadrzędnymi systemami kontroli i wizualizacji
- Zintegrowane funkcje monitoringu i ochrony przed niewłaściwą obsługą
- Obszerna archiwizacji parametrów procesowych i sygnałów roboczych
- Możliwość korzystania z usługi zdalnego wsparcia technicznego MEC Remote: bezpośredni dostęp do interfejsu użytkownika
- Intuicyjna obsługa za pomocą graficznego menu na najnowocześniejszym panelu dotykowym



Ryc. 115 Szeroko rozbudowany system zarządzania instalacją SCO – przykładowy wyświetlacz

### Water Control WCO do sterowania modulem przygotowania wody

Oferowane w bardzo atrakcyjnej cenie sterowanie modulem przygotowania wody zawiera wszystkie podstawowe funkcje sterowania odgazowaniem całkowitym i częściowym.

### Konstrukcja

Oparty o sterownik programowalny system sterowania z kolorowym graficznym panelem dotykowym. Zintegrowany w szafie sterowniczej urządzenia i trwale zamontowany na module przygotowania wody wraz z kompletnym okablowaniem do czujników i sterowników.

### Zakres funkcji podstawowych

- Regulacja ciśnienia/temperatury odgazowywacza
- Regulacja poziomu wody w odgazowywaczu (wielostopniowa lub bezstopniowa wraz z zabezpieczeniem przed suchobiegiem i funkcją wysokiego poziomu wody)
- Wyświetlacz wykresów wartości pomiarowych (ciśnienie/temperatura, poziom)

### Funkcje opcjonalne

- Regulacja temperatury w zbiorniku rozprężająco-schładzającym odsolin i odmulin BEM
- Kontrola ciśnienia rozpylania dla odgazowywaczy rozpylających
- Pomiar temperatury w zbiorniku wody zasilającej
- Sterowanie zaworem oparów dla uniknięcia strat ciepła w trybie czuwania

### Korzyści

- Sterowanie całym układem przygotowania wody w bardzo atrakcyjnej cenie
- Prosta obsługa na kolorowym panelu dotykowym z interfejsem tekstowym i graficznym
- Transmisja danych siecią Ethernet lub Profibus DP

### Master Energy Control MEC Remote do mobilnego sterowania systemem

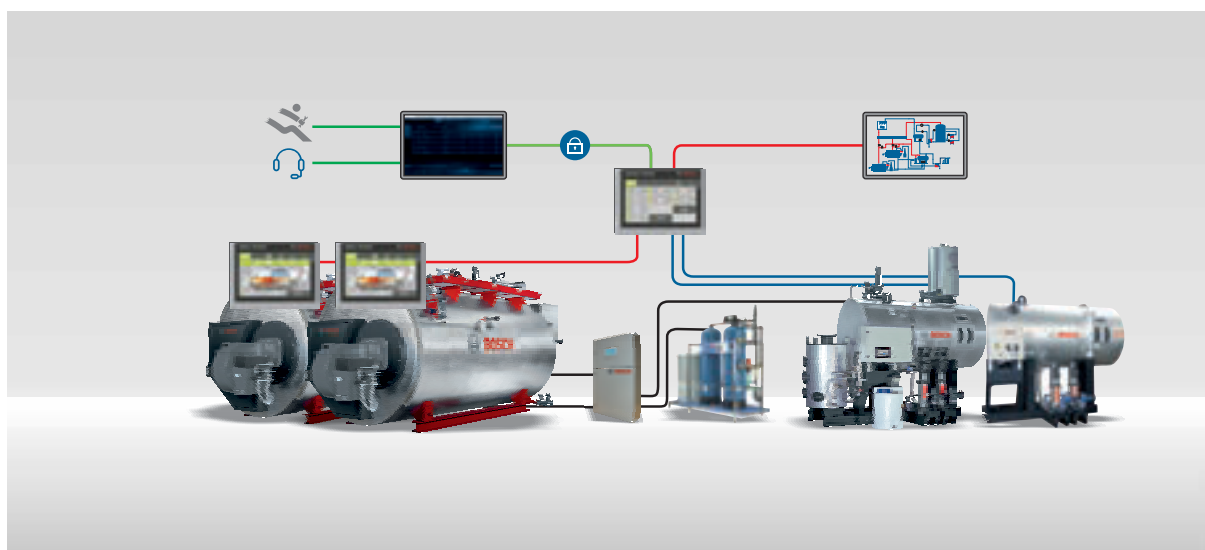
System zdalnego wsparcia technicznego Master Energy Control (MEC Remote) zastępuje dotychczasową usługę teleserwisową dla użytkowników kotłów przemysłowych. Ta ostatnia umożliwiała serwisantom Bosch bezpośredni dostęp do sterowania kotłów.

Nowy system MEC Remote oferuje użytkownikom możliwość wygodnego i bezpiecznego zdalnego monitorowania działania kotłowni na dowolnym urządzeniu z dostępem do internetu.

MEC Remote jest więc idealnym rozwiązaniem dla zakładów:

- w których osoby nadzorujące pracę kotłów nie mogą być stale na miejscu,
- w których pracują wymagające nadzoru instalacje wielokotłowe,
- będących w pogotowiu w okresach weekendy.

Systemy sterowania Bosch są kompatybilne z powszechnie używanymi systemami automatyki budynkowej. MEC Remote może być także stosowany dla tych kotłów, które nie są przygotowane do połączenia z centralnym systemem automatyzacji.



Ryc. 116 MEC Remote – zdalny dostęp do pomocy technicznej i wizualizacji danych procesowych

System wizualizacji pozwala na jednoczesny globalny monitoring parametrów instalacji. Na życzenie użytkownik może otrzymywać automatyczne powiadomienia SMS lub email o nieprawidłowościach i zakłóceniach w działaniu urządzeń. Dzięki temu można znacznie zredukować wydatki związane z nadzorowaniem systemów, od których wymaga się wysokiej niezawodności działania, np. pracujących całodobowo.

→ Broszura Systemy sterowania i komunikacja



Inną korzystną opcją dla użytkownika jest internetowe wsparcie techniczne ze strony specjalistycznego serwisu przemysłowego Bosch. Poprzez dodatkowy modem są możliwe zdalna parametryzacja instalacji, programowanie sterowników i diagnostyka nieprawidłowości. W razie usterki komponentu instalacji można z dużym prawdopodobieństwem określić jej przyczynę i udać się na miejsce od razu z odpowiednim sprzętem, co skraca przestoje kotłów i minimalizuje koszty napraw.

Priorytetem w internetowym dostępie do danych jest zagwarantowanie ich maksymalnego bezpieczeństwa. Elastyczne zarządzanie dostępem i uprawnieniami użytkowników dzieli uprawnienia na kilka kategorii, każdy użytkownik może zyskać dostęp i ingerować w sterowanie instalacją tylko na tyle, na ile pozwalają mu jego uprawnienia. Łącze danych na zewnątrz można w każdej chwili zablokować i odblokować kluczem na komputerze w kotłowni.

Dodatkowo do podania nazwy użytkownika i hasła na stronie logowania (<https://>) każda operacja wymaga autoryzacji za pomocą kodów jednorazowych (TAN). Podobnie jak w bankowości internetowej, kody dostępu są wysyłane SMS na telefon użytkownika. Zebrane dane procesowe kotłów przemysłowych nie są umieszczane w publicznej chmurze, ale zapisywane wyłącznie lokalnie w systemie kotła. Dla MEC Remote wykorzystano koncepcję zabezpieczeń opracowaną przez firmę ESCRYPT. Cykliczne audyty bezpieczeństwa przeprowadza firma Cirosec GmbH.



Ryc. 117 Szafy sterownicze systemów sterowania SCO i MEC System





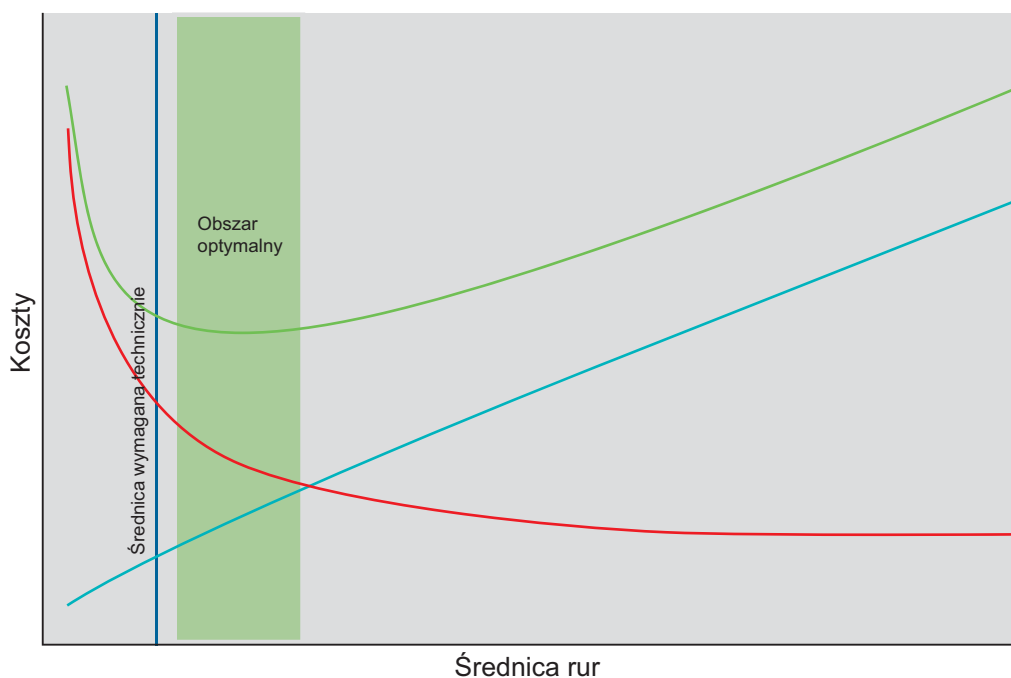


## 5 Peryferia

### 5.1 Rurociągi

W kontekście rurociągów używa się pojęć „średnica nominalna“ (DN) i „ciśnienie nominalne“ (PN) jako cech charakterystycznych umożliwiających wzajemne dopasowanie elementów instalacji rurociągowych, np. połączeń kołnierzowych. Średnica nominalna i ciśnienie nominalne są normalizowane według zasad stopniowania geometrycznego.

Wymiarowanie instalacji rurociągowych, a więc ustalenie średnicy nominalnej i ciśnienia nominalnego rur i armatury, zawsze opiera się na znalezieniu wyważonej proporcji między niezbędnymi wymaganiami technicznymi, np. utrzymaniem możliwie najmniejszych strat ciśnienia lub ciepła, i koniecznymi nakładami finansowymi na wykonanie i późniejszą eksploatację rurociągu. Instalacje rurociągowy mają przy tym spełniać różne wymagania i są użytkowane w różnych warunkach, a więc różne będą też rozwiązania optymalne pod względem kosztów inwestycji i eksploatacji w każdym indywidualnym przypadku. W związku z tym, że krzywe kosztów są na ogół płaskie w obszarze minimum kosztów całkowitych, często dwie średnice nominalne znajdują się w obszarze optymalnym.



Ryc. 118 Wykres przedstawiający przykładowe krzywe kosztów przy wymiarowaniu instalacji rurociągowej

- Koszty całkowite
- Koszty eksploatacji
- Koszty inwestycji

Wymiarowanie instalacji rurociągowy obejmuje kilka etapów:

- Ustalenie średnicy nominalnej
- Ustalenie ciśnienia nominalnego
- Wybór materiału
- Ustalenie odległości między punktami podparcia rur
- Uwzględnienie wydłużeń termicznych
- Uwzględnienie specyficznych właściwości czynnika przy montażu



Rozpatrywanie szczegółowych kwestii musiałoby uwzględniać mnóstwo detali technicznych i finansowych specyficznych dla każdej instalacji, więc projektowanie i obliczenia rurociągów opiera się zwykle o wynikające z doświadczenia racjonalne kosztowo i niezbędne technicznie dopuszczalne wartości dla prędkości przepływu. W zależności od czynnika i obszaru zastosowania te orientacyjne wartości sprawdziły się już w praktyce w wielu instalacjach.

Czynnik	Obszar zastosowania	Orientacyjna prędkość przepływu
<b>Para</b>	0 ... 1 bar	20 ... 25 m/s
	1 ... 40 bar	30 ... 40 m/s
<b>Woda</b>	Przewód ssawny	0,4 (0,25 ... 0,6) m/s
	Przewód tłoczny	2 (1,5 ... 3) m/s
<b>Kondensat</b>	Faza parowa	15 m/s
	Faza wodna	2 m/s
<b>Spaliny</b>		16,5 m/s
<b>Olej</b>	Olej lekki po stronie ssawnej	0,5 m/s
	Olej lekki po stronie tłocznej	1 m/s
	Olej ciężki po stronie ssawnej	0,3 m/s
	Olej ciężki po stronie tłocznej	0,5 m/s
<b>Gaz ziemny</b>		Brak zaleceń (wymiarowanie w oparciu o straty ciśnienia)

**Tab. 17** Typowe prędkości projektowe (orientacyjne) do wymiarowania rurociągów

### Ustalenie średnicy nominalnej DN

Średnice nominalne zamieszczone w tabeli poniżej są liczbami bezwymiarowymi. Odpowiadają przybliżonej wartości wewnętrznej średnicy przewodu rurowego podanej w mm. Wynika to z technologii produkcji rur, gdzie narzędzia produkcyjne nadają rurom wyznaczoną średnicę zewnętrzną, a średnica wewnętrzna zależy od grubości ścianek. Do zwymiarowania z grubsza rurociągu można przyjąć w obliczeniach średnicę nominalną jako średnicę wewnętrzną.



Średnica nominalna DN	Średnica zewnętrzna d <sub>1</sub> [mm]	Średnica nominalna DN	Średnica zewnętrzna d <sub>1</sub> [mm]
6	10,2	250	273,0
8	13,5	300	323,9
10	17,2	350	355,6
15	21,3	400	406,4
20	26,9	450	457,0
25	33,7	500	508,0
32	42,4	600	610,0
40	48,3	700	711,0
50	60,3	800	813,0
65	76,1	900	914,0
80	88,9	1000	1016,0
100	114,3	1200	1219,0
125	139,7	1400	1422,0
150	168,3	1600	1626,0
200	219,1		

Tab. 18 Średnice rur (EN 10255:2004+A1:2007, EN 1092-1:2013-04, tabela A.1)

Wymaganą średnicę nominalną można obliczyć według wzoru:

$$DN \geq \sqrt{\frac{\dot{V} \cdot 4}{\pi \cdot u}} = \sqrt{\frac{\dot{m} \cdot 4}{\pi \cdot \rho \cdot u}}$$

Wzór 20 Równanie do obliczenia wymaganej średnicy nominalnej

- DN Średnica nominalna rur [mm]
- $\dot{V}$  Strumień objętościowy [m<sup>3</sup>/s]
- $\dot{m}$  Strumień masowy [kg/h]
- $\rho$  Gęstość [kg/m<sup>3</sup>]
- u Orientacyjna prędkość według tabeli [m/s]

$$\sqrt{\frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 4}{\pi \cdot 4,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 40,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 44 \text{ mm} \leq \text{DN } 50$$

Przykł. 9 Przykład obliczenia wymaganej średnicy nominalnej

Dla zoptymalizowania doboru średnic nominalnych obliczonych według dopuszczalnej orientacyjnej prędkości można w niektórych sytuacjach, np. gdy przewody rurowe są wyjątkowo długie, posłużyć się specjalnymi programami dopasowującymi średnice nominalne rurociągów.

### Ustalenie ciśnienia nominalnego PN

Ciśnienie nominalne jest to bezwymiarowe oznaczenie ciśnienia dla rur i armatur. Jest wielkością pozwalającą zidentyfikować właściwości mechaniczne i wymiarowe elementu instalacji rurociąkowej. Elementy o takich samych średnicach nominalnych i takich samych ciśnieniach nominalnych pasują do siebie. Ciśnienie nominalne odpowiada maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu roboczemu wyrażonemu w [bar] przy temperaturze przesyłanego czynnika 20 °C.

Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze elementu instalacji zależy – oprócz materiału, z którego jest wykonany element – przede wszystkim od temperatury czynnika. Przy wyższych temperaturach maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze spada poniżej ciśnienia nominalnego. Nie wolno wówczas użytkować rurociągów i armatury przy ciśnieniu nominalnym.

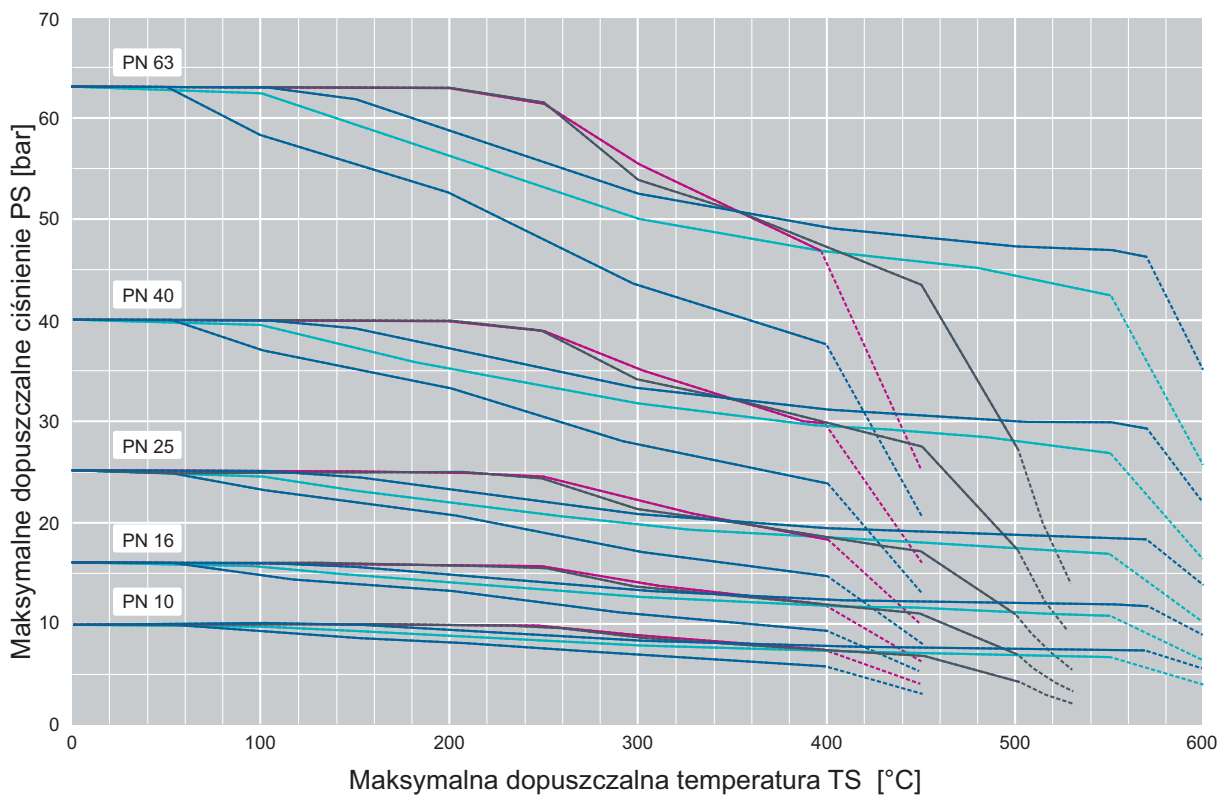
Zależność ciśnienie/temperatura kołnierzy jest posortowana na grupy materiałowe. W obszarze kotłów parowych są powszechne następujące materiały i grupy:

Grupa materiałowa	Rodzaj materiały	Numer materiałowy	Materiał
3E0	Stale niestopowe o gwarantowanych własnościach wytrzymałościowych w podwyższonej temperaturze	1.0352	P245GH
3E1	Stale niestopowe o ustalonych własnościach w temp. do 400 °C, górna granica plastyczności > 265 N/mm <sup>2</sup>	1.0460	P250GH
4E0	Stale niskostopowe z 0,3 % domieszką molibdenu	1.0426	P280GH
12E0	Stal o standardowej zawartości węgla, stabilizowana Ti i Nb	1.4541 1.4550 1.4941	X6CrNiTi18-10 X6CrNiNb18-10 X6CrNiTiB18-10
15E0	Stal o standardowej zawartości węgla, stop z molibdenem, stabilizowana Ti i Nb	1.4571 1.4580	X6CrNiMoTi17-12-2 X6CrNiMoNb17-12-2

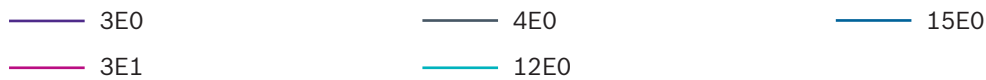
**Tab. 19** Grupy materiałowe zgodnie z EN 1092-1:2013-04 tabela 9, G.2.2, G.3.2, tabela D.1

Poniższy wykres przedstawia ciśnienie w funkcji temperatury dla różnych ciśnień nominalnych. W rozdziale „Narzędzia – Zależność ciśnienie/temperatura” są zawarte tabele odnoszące się do tego wykresu.

→ Narzędzia – Rozdział 5.4.2: Zależność ciśnienie/temperatura, strona 410



Ryc. 119 Zależność ciśnienie/temperatura dla kołnierzy zgodnie z PN- EN 1092-1



### Wybór materiału

Tabela poniżej podaje jedynie minimalne wymagania w zakresie wyboru materiału. W przypadku szczególnych warunków w miejscu ustawienia kotła, wymagań klienta lub przepisów krajowych bądź lokalnych mogą być stosowane także odmienne materiały.

Należy unikać materiałów zawierających miedź do wykonywania rur do kondensatu i wody uzupełniającej, prowadzących do i od kotła parowego.



Obszar zastosowania	Materiał rur
Przewody parowe	Stal lub stal nierdzewna ze świadectwem odbioru
Przewody wody zasilającej	Stal
Przewody upustowe zaworów bezpieczeństwa	Stal
Przewody odpowietrzające i odwadniające	Stal
Odwodnienie gniazd (zaworów bezpieczeństwa)	Miedź lub stal nierdzewna
Zmiękczona woda	Plastik (zimna) lub stal nierdzewna (po ogrzaniu)
Woda po osmozie	Stal nierdzewna

**Tab. 20** Minimalne wymagania dla materiałów na rury

#### Ustalenie odległości między punktami podparcia rur

Dostateczna liczba prawidłowo wykonanych zamocowań rur ma zapewnić, że rury pod działaniem sił ciężkości (ciężar własny, ciężar czynnika wypełniającego rurociąg, ciężar armatur i izolacji) i innych sił (np. w miejscach zmian kierunku) nie ulegną niedopuszczalnym deformacjom.

Wymagania dla zamocowań rur są dokładnie objaśnione w normie EN 13480-3.

→ EN 13480-3



## Rury i kołnierze do wody i pary

DN	ØA	PN 40 S	Maks. odległość między punktami podparcia L1 <sup>1)</sup>
10	17,2	2,0	–
15	21,3	2,0	–
20	26,9	2,3	–
25	33,7	2,6	2,9
32	42,4	2,6	<b>3,2</b>
40	48,3	2,6	3,5
50	60,3	2,9	3,9
65	76,1	2,9	<b>4,7</b>
80	88,9	3,2	5,4
100	114,3	3,6	6,2
125	139,7	4,0	<b>6,9</b>
150	168,3	4,5	7,5
200	219,1	6,3	8,6
250	273	7,1	9,7
300	323,9	8,0	10,6
350	355,6	8,8	11,1
400	406,4	11,0	11,8
500	508	14,2	<b>12,5</b>
600	610	16,0	13,2

**Tab. 21** Odległości między punktami podparcia rurociągów

1) Wymagania dla odległości między punktami podparcia L1:

- Zgodnie z EN13480-3:2014 – w stanie napełnionym wodą, grubość izolacji 80 mm
- Z uzupełnieniami przez interpolację
- L1 ograniczenie ugięcia, do DN 50 = 3 mm ugięcia, od DN 65 = 5 mm ugięcia
- Szczegóły p. EN13480-3

## Rozszerzalność cieplna

Ogrzewane ciała stałe ulegają rozszerzaniu, a oziębiane kurczą się do swoich pierwotnych rozmiarów.

To zjawisko rozszerzalności cieplnej trzeba uwzględnić w wielu miejscach kotłowni parowej, szczególnie tam, gdzie mogą wystąpić wysokie temperatury podczas eksploatacji.

Poniżej wskazujemy kilka przykładowych miejsc, na które trzeba zwrócić uwagę podczas projektowania i instalacji:

Miejsce	Zastosowanie ... do przejmowania wydłużeń termicznych
Rurociąg <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para</li> <li>• Spaliny</li> <li>• Odsalanie/odmulanie</li> <li>• ...</li> </ul>	Kompensatory rurowe <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ramię kompensujące (typ „L”)</li> <li>• Łuki kompensacyjne</li> <li>• Kompensator U-kształtowy (dla długich, prostych przewodów)</li> <li>• Łożysko ślizgowe</li> </ul>
Kotły i zbiorniki	Łożyska ślizgowe przy stopach i ramach  Kompensatory i ramiona kompensujące w przewodach doprowadzających i odprowadzających

**Tab. 22** Umieszczenie i rodzaje kompensatorów do przejmowania wydłużeń termicznych

Wydłużenie termiczne liniowe można obliczyć przy pomocy równania:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{oraz} \quad \frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta T$$



**Wzór 21** Równanie do obliczania wydłużenia termicznego liniowego

$\Delta l$	Wydłużenie termiczne liniowe [mm]
$l$	Długość [mm]
$\alpha$	Współczynnik rozszerzalności liniowej [mm/m]
$\Delta T$	Różnica temperatury [K]

#### Współczynniki rozszerzalności liniowej różnych gatunków stali

Stal niskostopowa (ferrytyczna):

$$\alpha \approx 1 - 1,3 \text{ [mm/m} \cdot 100\text{K]} = 10 \dots 13 \cdot 10^{-6} \text{ [1/K]}$$

Stale nierdzewne (austenityczne):

$$\alpha \approx 1 - 1,8 \text{ [mm/m} \cdot 100\text{K]} = 10 \dots 18 \cdot 10^{-6} \text{ [1/K]}$$

Wymagane długości ramion kompensujących do przejmowania wydłużeń termicznych muszą być obliczone według uznanych reguł techniki.

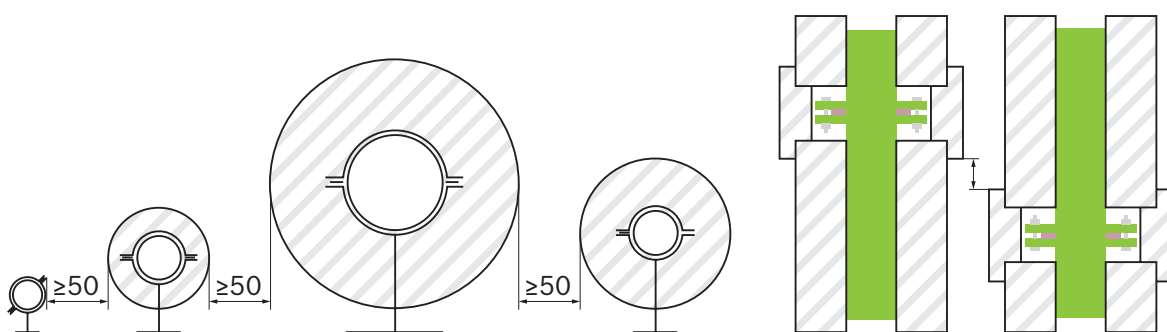
Obliczanie wymaganych długości ramion kompensujących:  
→ Instrukcja AD 2000: HP 100 R

#### Minimalna odległość od obiektów budowlanych i sąsiadujących rurociągów

Należy zachować wolną przestrzeń co najmniej 50 – 100 mm dla celów montażowych i zaizolowania rur oraz późniejszej konserwacji rurociągu. Często stosowana dla prac izolacyjnych norma DIN 4140 zaleca minimalną odległość 100 mm.

Dla zminimalizowania odległości pomiędzy rurociągami prowadzonymi na estakadach powinno się projektować kołnierze w sąsiadujących rurociągach przesunięte względem siebie.





**Ryc. 120** Wymagane odległości dla prawidłowego funkcjonowania sąsiadujących rurociągów na estakadzie rurociągowej i kotłowni rurowe przesunięte względem siebie

## 5.2 Rurociągi pary

### Uderzenia hydrauliczne w przewodach pary i kondensatu

Niedostateczne odwodnienie przewodów pary lub urządzeń (np. wymienników ciepła) może spowodować uderzenia hydrauliczne w przewodach pary/kondensatu skutkujące poważnymi uszkodzeniami.

Gdy gorąca para / gorący kondensat łączy się z chłodniejszą wodą pęcherze pary ulegają gwałtownemu zanikowi. Ta implozja jest powodem natychmiastowego napływu wody, która wywołuje falę uderzeniową, czemu towarzyszy nagłe spiętrzenie ciśnienia.

Głównymi przyczynami uderzeń hydraulicznych są brak odwodnienia, nieprawidłowa instalacja, uszkodzone urządzenia i niewłaściwa obsługa.

### Odwodnienie

Podczas przesyłu rurociągiem para nasycona skrapla się wskutek oziębienia. Powstały kondensat musi być zebrany i odprowadzony. Przewody parowe należy zaprojektować z lekkim spadkiem 5 – 10 mm na każdy metr długości, czyli 0,5 – 1 %, w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu pary, aby umożliwić grawitacyjny spływ kondensatu.

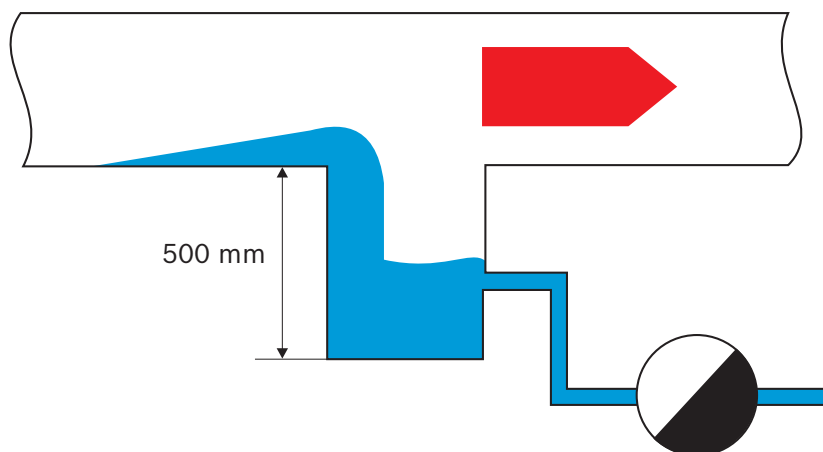
Spusty kondensatu powinny być instalowane:

- w prostych rurach w regularnych odstępach co 30 – 50 m,
- przed każdym punktem spiętrzenia (przed armaturami i pionowymi odcinkami rurociągu).

Króćce odwadniające muszą być w stanie pewnie zbierać i gromadzić kondensat, aby mógł on być skutecznie usuwany z rurociągu. Do średnicy nominalnej DN 100 króćce odwadniające powinny mieć taką samą średnicę nominalną jak przewody parowe, aby móc także zbierać kondensat powstający podczas rozruchu. Przy większych średnicach nominalnych króćce zbierające kondensat mogą mieć mniejszą średnicę nominalną od przewodów parowych. Króćce powinny mieć około 500 mm długości, odpływ kondensatu powinien być umieszczony bocznie, aby gromadzące się zanieczyszczenia z kondensatu wpływały negatywnie na funkcjonowanie odwadniacza. Z uwagi na zawartą w nim energię nie należy usuwać gorącego kondensatu z obiegu, ale należy przetransportować go przewodami z powrotem do zbiornika wody zasilającej, gdzie będzie mógł być powtórnie wykorzystany.

Ilość odprowadzanego kondensatu jest powiązany poprzez entalpię parowania ze stratą ciepła na rurociągu, armaturach i innych elementach wbudowanych na danym odcinku rurociągu. Ilość kondensatu można oszacować przy pomocy równań zawartych w rozdziale „Projektowanie – Straty ciepła na rurociągu parowym”

→ Projektowanie – Rozdział 3.1: Ustalenie zapotrzebowania na parę odbiorników, strona 38



Ryc. 121 Króciec zbierający kondensat

## 5.3 Rurociągi wody

### Przewody tłoczne

Często przewody tłoczne nie muszą odpowiadać specjalnym wymaganiom, na które trzeba zwracać szczególną uwagę. Niekiedy dla krótkich przewodów można nawet zaakceptować prędkość przepływu  $\leq 5$  m/s, jeśli jest wykluczono niebezpieczeństwo uderzeń hydraulicznych przy pomocy innych środków.

#### Uderzenia hydrauliczne

Uderzenia hydrauliczne zdarzają się w szczególności podczas zamykania zaworów w rurociągach do przesyłu cieczy. Wskutek bardzo szybkiego wyhamowania prędkości strumienia i małej ścisłości cieczy następuje gwałtowny przyrost ciśnienia i zjawisko uderzenia hydraulicznego według tzw. modelu Żukowskiego.

Wydłużenie czasu zamykania zaworu i zmniejszenie prędkości strumienia pozwalają zredukować siłę uderzeń hydraulicznych, a nawet ich uniknąć.

Jeżeli są używane zawory z napędem elektrycznym (o typowym czasie zamykania  $> 30$  sekund) i prędkość strumienia w rurociągu jest utrzymywana w zalecanym zakresie ( $\rightarrow$  tab. 17, strona 214), wówczas nie występują niedopuszczalne spiętrzenia ciśnienia będące przyczyną uderzeń hydraulicznych.



### Przewody ssawne

Przewodami ssawnymi są przewody rurowe po stronie wlotu do pomp. Tu szczególną uwagę należy zwrócić przede wszystkim na utrzymanie jak najmniejszych strat ciśnienia, aby zapobiec wystąpieniu zjawiska kawitacji w pompach. Dotyczy to zwłaszcza tych przewodów, którymi płynie gorąca woda o temperaturze tylko nieco poniżej granicy wrzenia (np. gorąca woda ze zbiornika wody zasilającej lub gorący kondensat). Należy je wymiarować na mniejszą prędkość przepływu czynnika i jak najkrótsze (do kilku metrów) tak aby straty ciśnienia występujące na tych przewodach były jak najmniejsze.



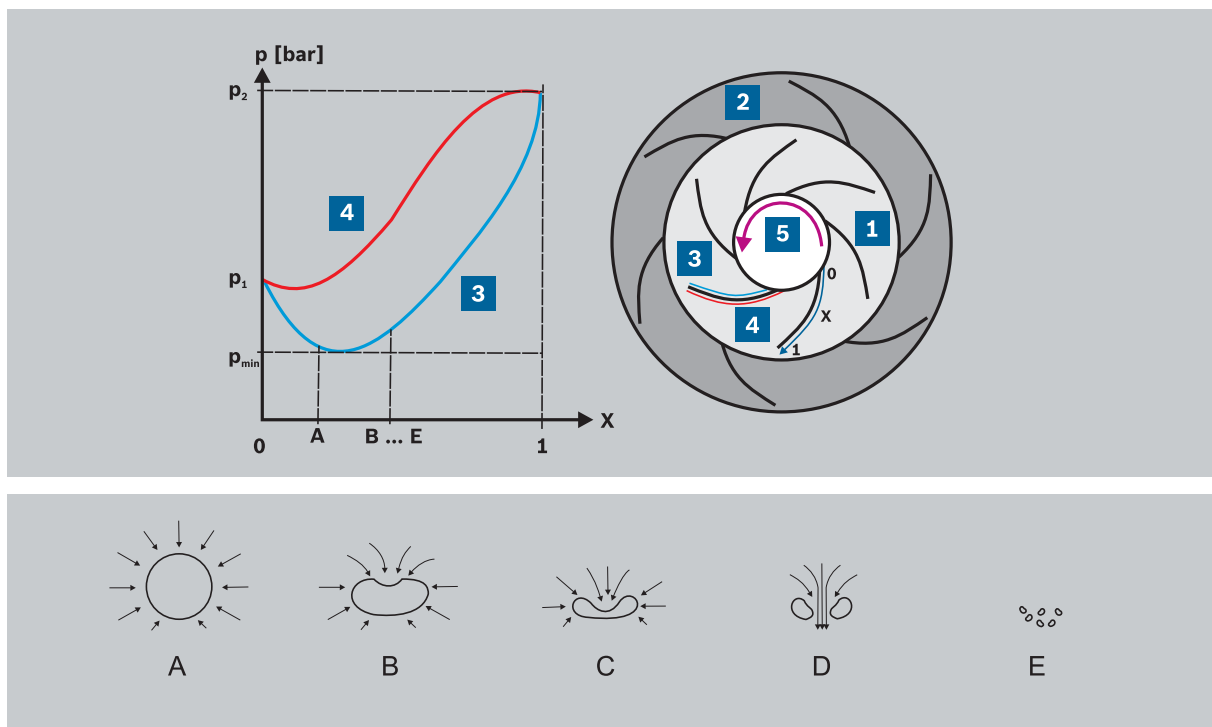
## Kawitacja

Kawitacja (łac. „cavum” = pusty) polega na gwałtownym powstawaniu i zapadaniu się pęcherzyków gazu w cieczy.

Pęcherzyki gazu powstają w miejscach, gdzie następuje lokalny spadek ciśnienia statycznego. Dzieje się tak np. z tyłu wirnika pompy obiegowej. Spadek ciśnienia statycznego może spowodować wrzenie cieczy i tworzenie się pęcherzyków gazu, które zaraz potem implodują. Implodująca wywołuje powstanie strugi wody, która z bardzo dużą prędkością uderza w łopatki wirnika. Intensywne działanie cieczy powoduje naruszenie powierzchni materiału, na której pojawiają się charakterystyczne kratery. Wzerają się one coraz głębiej w łopatki wirnika, aż do całkowitego ich zniszczenia.

Antykawitacyjna nadwyżka wysokości ssania (Net Positive Suction Head, NPSH) pompy obiegowej podaje wymaganą wysokość napływu wrzącej wody, przy której nie dochodzi jeszcze do wystąpienia kawitacji na wirniku pompy. Pompy zasilające przemysłowe kotły parowe są to z reguły pompy o niskim NPSH, wymagające w zakresie pracy niewielkiej wysokości napływu 0,4 – 1,2 m.

Każda pompa powinna mieć własny przewód, aby uniemożliwić wzajemne oddziaływanie na siebie poszczególnych pomp.



Ryc. 122 Kawitacja – przepływ wzdłuż łopatek wirnika pompy i zapadanie się pęcherzyków gazu

- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b> Wirnik                   | <b>4</b> Wirnik – strona tłoczna |
| <b>2</b> Kierownica łopatkowa     | <b>5</b> Kierunek obrotu         |
| <b>3</b> Wirnik – strona ssawna   |                                  |
| <b>A</b> Pojedynczy pęcherzyk     | <b>D</b> Mikrostruga             |
| <b>B</b> Początek spłaszczenia    | <b>E</b> Zapadnięty pęcherzyk    |
| <b>C</b> Zapadający się pęcherzyk |                                  |

## 5.4 Przewody kondensatu

### Prowadzenie rurociągu

Zaleca się układać przewody kondensatu nieprzerwanym ciągiem z co najmniej 1 % spadkiem w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu czynnika, aby zbierający się kondensat mógł bez przeszkód spływać do odwadniacza i być usuwany z wymienników ciepła i rurociągu. To działa korzystnie na procesy rozruchowe wymienników ciepła i zmniejsza ryzyko pojawienia się korozji.

W szczególności należy zapobiegać tworzeniu się kieszeni wodnych, które mogą wywoływać uderzenia wodne w przewodach pary, zwłaszcza w fazach rozruchu wymienników ciepła.

W rurociągu kondensatu mogą występować odcinki pionowe. W takim wypadku należy oprócz straty ciśnienia hydrostatycznego uwzględnić także podwyższone straty ciśnienia przepływu. Poziome odcinki rurociągu należy dalej układać ze spadkiem, w najniższych punktach należy zainstalować odpowiednie spusty służące do odwadniania instalacji podczas ogrzewania się w fazach rozruchu.

Zazwyczaj kondensat nie powstaje na dostatecznej wysokości geometrycznej nad zbiornikiem wody zasilającej, należy więc zbierać go w zbiornikach do gromadzenia kondensatu, skąd następnie zostanie przepompowany przez pompy kondensatu z powrotem do kotłowni.

### Wymiarowanie

W żadnym wypadku nie wolno traktować przewodów kondensatu jak rurociągów wodnych. W systemie powrotu kondensatu jest obecna para wtórna powstała z rozprężenia kondensatu, rurociąg należy więc dobrać na przepływ czynnika dwufazowego (para wtórna-woda).

Jeśli pole przekroju rurociągu będzie znacznie mniejsze niż wymagane, przemieszczające się z dużymi prędkościami krople kondensatu będą ciągle uderzać w armatury i kolana rurowe powodując ich przyspieszoną erozję.

Wymagane pole przekroju przewodu dla frakcji parowej i wodnej wynikają z odpowiednich gęstości, strumieni masowych i zalecanych prędkości.

#### Procesy erozyjne wywoływane oddziaływaniem kropli

Ze zjawiskiem tym mamy do czynienia gdy przemieszczające się z dużymi prędkościami krople uderzają w powierzchnię. Chociaż woda, będąc cieczą, jest pozornie „miękką”, to krople z powodu nieściśliwości cieczy, dużego impetu i bezwładności działają abrazyjnie, powodując wzmożoną erozję powierzchni i w następstwie jej szybsze zużycie.



$$A_{\text{wym,para}} = \frac{\dot{m}_{\text{kond}} \cdot x_{\text{para,rozpr}}}{\rho'' \cdot u_{\text{kond,para}}}$$

$$A_{\text{wym,woda}} = \frac{\dot{m}_{\text{kond}} \cdot (1 - x_{\text{para,rozpr}})}{\rho' \cdot u_{\text{kond,woda}}}$$



**Wzór 22** Równanie na obliczenie wymaganej powierzchni przekroju rurociągu



Po podstawieniu do wzoru na średnicę:

$$DN \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_{wym}}$$

$$DN = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \dot{m}_{Ko} \cdot \left( \frac{x_{p,rozpr}}{\rho'' \cdot u_{dop,p}} + \frac{(1-x_{p,rozpr})}{\rho' \cdot u_{dop,w}} \right)}$$



**Wzór 23** Równanie na obliczenie wymaganej średnicy nominalnej rurociągu

DN	Średnica nominalna rurociągu
$\dot{m}_{Ko}$	Strumień masowy kondensatu [kg/s]
$x_{p,rozpr}$	Para wtórna z rozprężenia kondensatu do ciśnienia zbiornika [kg/kg]
$\rho''$	Gęstość pary nasyconej przy ciśnieniu zbiornika [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho'$	Gęstość wrzącej wody przy ciśnieniu zbiornika [kg/m <sup>3</sup> ]
$u_{ko,p}$	Orientacyjna prędkość fazy parowej [15 m/s]
$u_{ko,w}$	Orientacyjna prędkość fazy wodnej [2 m/s]
$A_{wym}$	Wymagana powierzchnia przekroju rurociągu [m <sup>2</sup> ]
$A_{wym,p}$	Wymagana powierzchnia przekroju rurociągu dla fazy parowej
$A_{wym,w}$	Wymagana powierzchnia przekroju rurociągu dla fazy wodnej

Przykład:

$T_{Ko} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura kondensatu przed rozprężeniem
$p_{ko-zbiornik} = 0,2 \text{ bar}$	Ciśnienie po rozprężeniu (ciśnienie zbiornika)
$x_{p,rozpr} = 5,0 \text{ } \%$	Obliczony udział pary wtórnej
$\dot{m}_{ko} = 1\,000 \text{ kg/h}$	Strumień masowy kondensatu

→ Narzędzia – Rozdział 4.2.2: Para wtórna z rozprężenia, strona 404

$$A_{wym,p} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 5,0 \text{ } \% \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \left( \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)^2}{0,673 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1376 \text{ mm}^2$$

$$A_{wym,w} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (1 - 5,0 \text{ } \%) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \left( \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)^2}{956 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 138 \text{ mm}^2$$

**Przykł. 10** Przykład obliczenia wymaganej powierzchni przekroju rurociągu

$$DN \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot (1376 + 138) \text{ mm}^2} = 43,9$$

→ DN **DN 50**

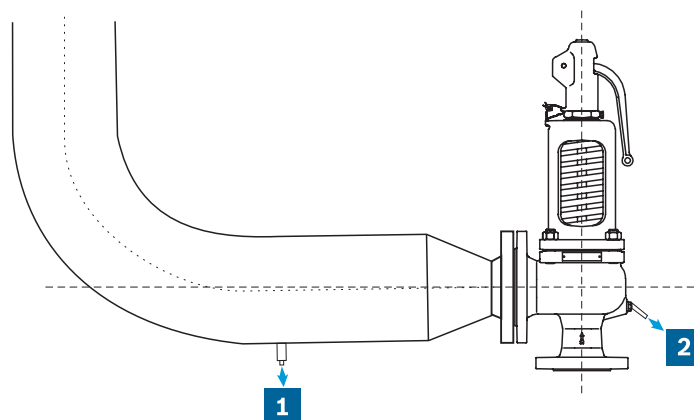
**Przykł. 11** Przykład obliczenia wymaganej średnicy nominalnej rurociągu

## 5.5 Przewody wydechowe zaworów bezpieczeństwa

### 5.5.1 Przewód wydechowy zaworu bezpieczeństwa do pary

Instalacja przewodu wydechowego zaworu bezpieczeństwa do pary powinna spełniać następujące kryteria:

- Przewód wydechowy musi być tak zwymiarowany, aby podczas wyrzutu nadmiaru czynnika nie zostało przekroczone przeciwcisnienie własne wynoszące 10 % ciśnienia zadziałania zaworu bezpieczeństwa:
  - w przypadku przewodów o maksymalnej długości 10 m i liczących maksymalnie 5 kolan średnica nominalna przewodu wydechowego powinna być o 2 dymensje większa niż średnica nominalna wylotu zaworu bezpieczeństwa;
  - w przypadku przewodów dłuższych lub liczących więcej kolan wskazane szczegółowe obliczenie strat ciśnienia na przewodzie.
- Na wylocie zaworu najpierw montuje się łącznik ze spadkiem ( $\geq 0,5\%$ ), aby najniższy punkt powstał w przewodzie wydechowym, który to punkt będzie odwadniany przez niezamykane urządzenie.
- Jeśli gniazdo zaworu bezpieczeństwa ma wywiercony otwór do odwadniania, należy zadbać o dodatkowe odwodnienie zaworu.
- Przewód wydechowy zaworu bezpieczeństwa musi być prowadzony oddzielnie od innych przewodów (wentylacyjnych, odprowadzających parę wtórną, przewodów wydechowych innych zaworów bezpieczeństwa itd.) i chroniony przed zamarznięciem.
- Nie dopuścić do zatkania odwodnienia brudem i ciałami obcymi.
- Musi być zapewniony wyrzut kondensatu w sposób niezagrażający otoczeniu.
- Przewód wydechowy musi być zainstalowany i zamocowany w taki sposób (np. przy pomocy wsporników, zawieszek sprężynowych) aby nie znajdował się w zasięgu działania sił ścinających, zginających i skręcających wywieranych przez zawór bezpieczeństwa. Należy uwzględnić siły reakcji powstające przy zrzucie czynnika z zaworu bezpieczeństwa.
- Przewód wydechowy musi być wyprowadzony w bezpieczny sposób na zewnątrz.



Ryc. 123 Odwodnienie przewodu wydechowego zaworu bezpieczeństwa

- 1 Odwodnienie przewodu wydechowego zaworu bezpieczeństwa
- 2 Odwodnienie gniazda zaworu bezpieczeństwa

Działanie zaworu bezpieczeństwa i przewodu wydechowego jest testowane podczas odbioru kotła parowego na miejscu przez zewnętrzną jednostkę inspekcyjną najczęściej przy pełnej mocy paleniska w warunkach realnej pracy.

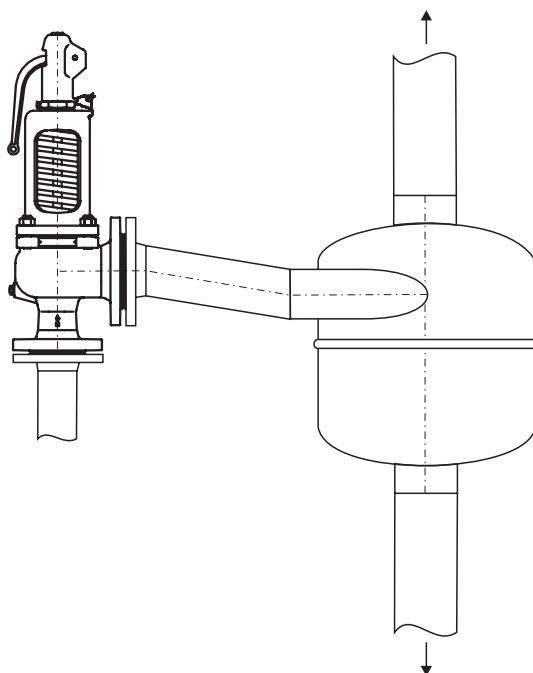
→ Informacja Techniczna TI024: Wymagania dla pomieszczenia kotłowni



### 5.5.2 Przewody wydmuchowe zaworów bezpieczeństwa do cieczy

Instalacja przewodów wydmuchowych zaworów bezpieczeństwa do cieczy powinna spełniać następujące kryteria:

- Na przewodzie wydmuchowym zaworu bezpieczeństwa połączonego z przestrzenią wodną musi być zainstalowany rozprężacz i separator wody gorącej.
- Układ po stronie wyrzutowej zaworu bezpieczeństwa musi mieć takie wymiary, aby podczas wyrzutu nadmiaru gorącego czynnika nie zostało przekroczone przeciwcisnienie własne wynoszące 10 % ciśnienia zadziałania zaworu bezpieczeństwa.
- Łącznik między wylotem zaworu bezpieczeństwa i rozprężaczem musi być ułożony ze spadkiem ( $\geq 0,5\%$ ).
- Jeśli gniazdo zaworu bezpieczeństwa ma wywiercony otwór służący do odwodnienia należy zadbać o dodatkowe odwodnienie zaworu.
- Przewód służący do odwadniania zaworu układać bez zmian kierunku i ze spadkiem.
- Kondensat zbierający się w rozprężaczu musi być schłodzony i w bezpieczny sposób odprowadzony.
- Łącznik między wylotem zaworu bezpieczeństwa i rozprężaczem musi być zainstalowany i zamocowany w taki sposób (np. wsporniki, zawieszania sprężynowe) aby nie znajdował się w zasięgu działania sił ścinających, zginających i skręcających wywieranych przez zawór bezpieczeństwa. Należy uwzględnić siły reakcji powstające przy zrzucie czynnika z zaworu bezpieczeństwa.
- Przewód wydmuchowy odprowadza z rozprężacza nadmiar gorącego czynnika z dużą prędkością, czemu towarzyszy hałas. Przewód musi być wyprowadzony w taki sposób na zewnątrz aby nie stwarzał żadnego zagrożenia dla otoczenia.
- Przewód wydmuchowy z rozprężacza musi być prowadzony oddzielnie od innych przewodów (wentylacyjnych, odprowadzających parę wtórną, przewodów wydmuchowych innych zaworów bezpieczeństwa itp.) i chroniony przed zamarznięciem.



Ryc. 124 Zawór bezpieczeństwa z rozprężaczem wody gorącej

- 1 Wylot przewodu wydmuchowego bezpiecznie przez dach
- 2 Przewód odwadniający w bezpieczny sposób odprowadzający schłodzoną ciecz



## 5.6 System odprowadzania spalin

System odprowadzania spalin ma początek na króćcu wylotowym kotła i jego zadaniem jest bezpieczne odprowadzenie do otoczenia spalin powstających w procesie spalania paliw. W skład systemu wchodzi kanały spalinowe wewnątrz i na zewnątrz kotłowni, komin i ewentualne dodatkowe elementy instalacji jak kompensatory, tłumiki hałasu czy kłapy spalin.

Wszystkie komponenty instalacji spalania, zaczynając od palnika wraz z wentylatorem przez kocioł, ekonomizer, kanały spalinowe, tłumik hałasu, a kończąc na kominie muszą być starannie dopasowane do siebie. Tylko wtedy system może działać długotrwale bezawaryjnie we wszystkich warunkach roboczych. Niedopasowanie lub nieprawidłowe wykonanie poszczególnych komponentów zakłóca działanie całego systemu np. wywołując drgania, nienormalne hałasy, zwiększoną emisję zanieczyszczeń czy niestabilność procesu spalania.

Systemy odprowadzania spalin muszą być projektowane zgodnie z przepisami krajowymi i lokalnymi oraz odnośnymi normami.

Ogólne wymagania dla systemów odprowadzania spalin są zawarte w normie EN 1443. Wykonanie systemów odprowadzania spalin musi być zgodne z lokalnie obowiązującymi przepisami prawa budowlanego oraz przepisami z zakresu budowy kominów spalinowych.

Kominy wolnostojące muszą spełniać oprócz wymogów zawartych w przepisach prawa budowlanego także wymagania dotyczące kominów przemysłowych, kominów stalowych oraz wymagania określone w normie EN 13084-1.

Metody obliczeń przepływowych są podane w normach EN 13384 dla kominów wewnętrznych i zewnętrznych w budynkach oraz EN 13084-1 dla kominów wolnostojących.



Kanały spalinowe muszą być budowane z materiałów niepalnych i być odporne na działanie spalin i wysokiej temperatury. Cały system odprowadzania spalin z kotła parowego musi być wykonany z materiałów wytrzymałych na temperaturę sięgającą 350 °C. Jeśli kocioł posiada 4. ciąg lub jest kotłem odzysknicowym wykorzystującym ciepło spalin wylotowych z modułu kogeneracyjnego lub turbiny gazowej system odprowadzania spalin musi być przystosowany do najwyższych temperatur, które mogą się pojawić w każdym z tych przypadków.

Systemy odprowadzania spalin i wysokości kominów często muszą spełniać wymogi obowiązujące w poszczególnych krajach. W tym poradniku są opisane tylko najważniejsze zasady funkcjonalnego projektowania systemów.

### Rurociąg spalinowy (czopuch)

Rurociąg spalinowy stanowi połączenie między wylotem kotła i wlotem do komina. Powinien być jak najkrótszy, mieć korzystną dla przepływu geometrię i jak najmniej załamań kierunku (kolan, łuków), aby utrzymać niskie straty ciśnienia i ciepła. Redukcje, ale też zwiększenia średnic rur, nie powinny następować skokowo, ale z zachowaniem kąta przejściowego maksymalnie 30°. Rurociąg spalinowy powinien być włączony do komina pod kątem 30 – 45°.



Wymóg	Wykonanie
Utrzymanie stałych warunków w komorze spalania	Obliczanie na +0/-1 mbar na końcu kotła Zalecany jeden ciąg kominowy na każdy kocioł
Mała strata ciśnienia	Przewody krótkie, mało zmian kierunku (kolan), geometria korzystna dla przepływu
Mała strata ciepła	Izolacja przewodów
Odwadnianie	Spusty kondensatu, neutralizacja kondensatu
Zapewniony swobodny przelot przez przewód	Wykonać otwory rewizyjne i wyczystkowe
Pomiar emisji	Zainstalować króćce do pomiaru emisji
Czyszczenie i inspekcja	Wykonać otwory rewizyjne i wyczystkowe w każdym punkcie zmiany kierunku
Kompensacja wydłużeń termicznych	Zastosować kompensatory
Wytrzymałość	Temperatura do 350 °C, odporność na korozję wywołwaną przez kondensat
Wytrzymałość na ciśnienie	Dla pracy w warunkach nadciśnienia i podciśnienia
Gazoszczelność	Gazoszczelność zgodnie z EN 1856
Zagrożenie przez brak powietrza	Zainstalowane klapy spalin i powietrza dolotowego z wyłącznikiem krańcowym z funkcją bezpieczeństwa

Tab. 23 Ogólne wymagania dla rurociągów spalinowych

### Wymiarowanie

Rurociąg spalinowy ze wszystkimi komponentami jak klapy spalin, kompensatory i tłumiki hałasu mogą zazwyczaj mieć taką samą średnicę nominalną na całej długości do komina równą średnicy wylotu spalin z kotła.

W obliczeniach nie powinno się przekraczać orientacyjnej prędkości 16,5 m/s w odniesieniu do temperatury spalin na wylocie z kotła. W związku z tym, że prędkość orientacyjna odnosi się do strumienia objętościowego w warunkach roboczych, trzeba najczęściej podawany strumień masowy spalin przeliczyć na strumień objętościowy w warunkach roboczych.

Przeliczenia można dokonać w oparciu o prawo gazu doskonałego:

$$\rho_{\text{rob}} = \rho_n \cdot \frac{T_n}{T_{\text{rob}}} \cdot \frac{p_{\text{rob}}}{p_n}$$



Wzór 24 Przetworzone równanie gazu doskonałego do obliczania gęstości gazów w warunkach roboczych

$\rho_{\text{rob}}$	Gęstość w warunkach roboczych
$\rho_n$	Gęstość w warunkach normalnych
$T_{\text{rob}}$	Temperatura w warunkach roboczych [K]
$T_n$	Temperatura w warunkach normalnych (273,15 K)
$p_{\text{rob}}$	Ciśnienie w warunkach roboczych [bar]
$p_n$	Ciśnienie w warunkach normalnych (1,01325 bar)

→ Wzór 2: Warunki normalne i warunki standardowe, strona 29

**Przykład dla gazu ziemnego E:**

$\lambda = 1,15$	Nadwyżka powietrza
$\dot{m}_{\text{spal}} = 10\,000$	Strumień masowy spalin [kg/h]
$\rho_{n,\text{spal}} = 1,244$	Gęstość spalin w warunkach normalnych [kg/m <sup>3</sup> n]
$T_{\text{rob}} = 250 / 523,15$	Temperatura spalin [°C]/[K], za kotłem i przed ekonomizerem
$p_{\text{rob}} = p_n = 1,01325$	Ciśnienie otoczenia [bar] (pomija się odchyłkę od wartości w warunkach normalnych)

$$\rho_{\text{rob}} = 1,243 \frac{\text{kg}}{\text{m}_n^3} \cdot \frac{273,15 \text{ K}}{250,00 \text{ K}} \cdot 1 = 0,649 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Przykl. 12** Przykład obliczenia gęstości spalin w warunkach roboczych

$$DN \geq \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot u}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho \cdot u}}$$

**Wzór 25** Wzór na obliczenie wymaganej średnicy nominalnej przewodu spalinowego

- DN Średnica nominalna rury
- $\dot{V}$  Strumień objętościowy [kg/h]
- $\dot{m}$  Strumień masowy [kg/s]
- $\rho$  Gęstość [kg/m<sup>3</sup>]
- u Orientacyjna prędkość według tabeli [m/s]

$$DN \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 10000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{\pi \cdot 0,650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 16,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} \cdot \left(\frac{1\,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}\right)^2} = 574 \text{ mm}$$

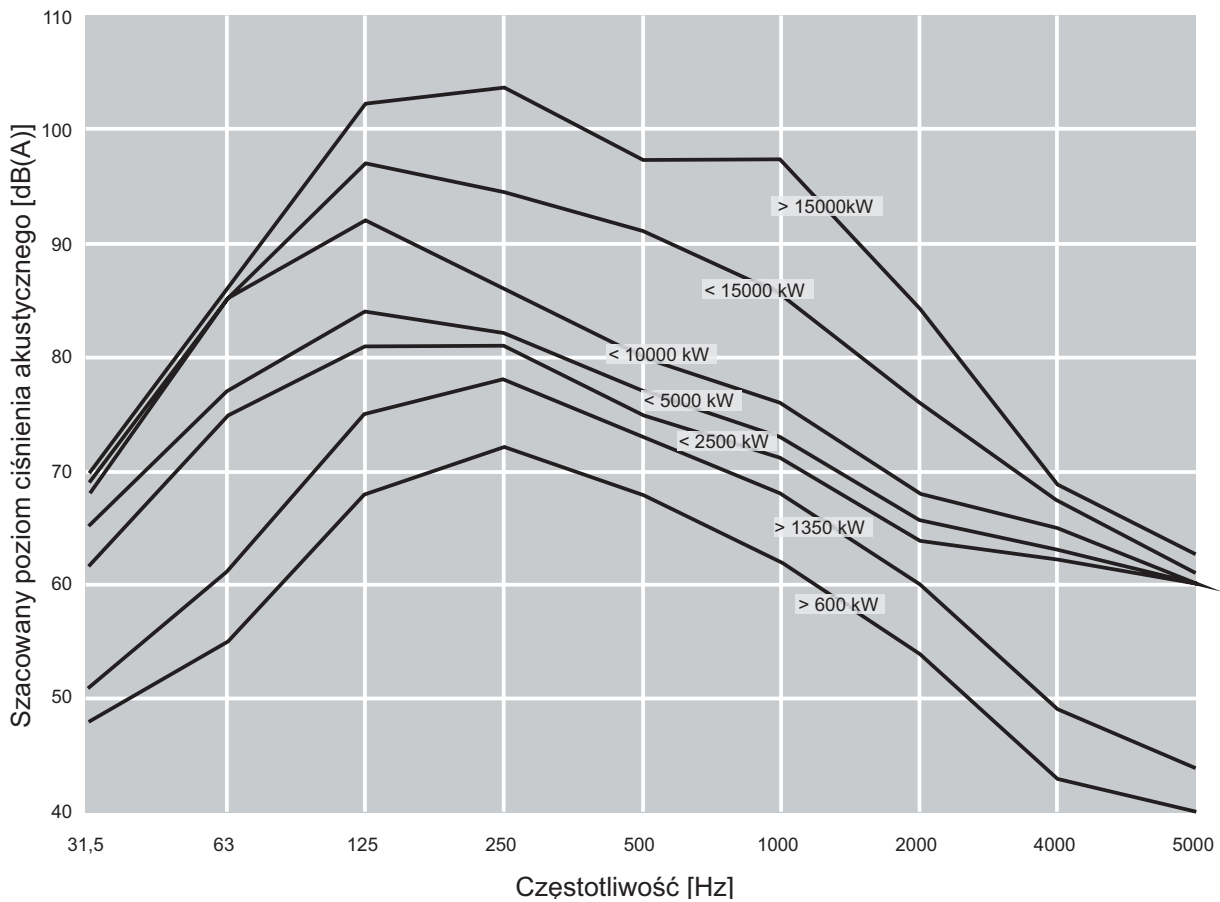
→ Min. średnica nominalna **DN 630**

**Przykl. 13** Przykład obliczenia wymaganej średnicy nominalnej rurociągu spalinowego

Wartość ciągu kominowego obliczona przez producenta kominia może wymagać większych średnic nominalnych przewodów spalinowych, zwłaszcza gdy komin jest niski i przewody spalinowe są długie.

**5.6.1 Tłumik hałasu spalin**

Tłumiki hałasu spalin mają zmniejszać emisję hałasu towarzyszącego spalaniu paliw. Aby tłumik hałasu działał prawidłowo, musi być dobrany odpowiednio do częstotliwości dźwięku emitowanego przez palnik, mocy kotła i wymaganej przepisami dopuszczalnej emisji hałasu.



**Ryc. 125** Charakterystyka korekcyjna częstotliwości A i odpowiadający jej całkowity poziom ciśnienia akustycznego w zależności od mocy cieplnej kotła

Moc cieplna kotła	[kW]	≤ 600	≤ 1 350	≤ 2 500	≤ 5 000	≤ 10 000	≤ 15 000	> 15 000
Oczekiwana wartość całkowitego poziomu ciśnienia akustycznego	[dB(A)]	75	81	85	87	94	100	107

Wartości przedstawione na rys. 125 są jedynie wartościami orientacyjnymi, odnoszącymi się do poszczególnych kotłów bez tłumików hałasu. Pomiary wykonano przy wylocie komina w odległości 1 m pod kątem 45°.



Towarzyszący procesowi spalania dźwięk rozprzestrzenia się w powietrzu poprzez powierzchnię systemu odprowadzania spalin i wydostaje się przez komin. Dźwięki emitowane przez instalację kotłową przeważnie mają niską częstotliwość.

Ten hałas mogą skutecznie ograniczać tłumiki hałasu spalin. Tłumiki hałasu należy dobrać na zakres częstotliwości dźwięków emitowanych przez spaliny na wylocie z komina instalacji kotłowej, aby utrzymać emisję hałasu w granicach wymaganych przepisami.

Wykres na rys. 125 przedstawia przeciętny poziom ciśnienia akustycznego emitowanego przez kocioł bez tłumika hałasu spalin mierzony przy wylocie komina. System spalania (konstrukcja palnika, profil strumienia spalin kształtujący się w komorze spalania) i system odprowadzania spalin (zmiany kierunku, długość i średnica przewodów spalinowych) znacząco wpływają na poziom emitowanego hałasu, wobec czego mogą być tu podane jedynie wartości orientacyjne poziomu ciśnienia akustycznego. W przypadku instalacji wielokotłowej należy zsumować wartości ciśnienia akustycznego wszystkich kotłów.

Projektując przewody spalinowe należy wziąć pod uwagę, że w zależności od wymagań może być potrzebny tłumik hałasu o znacznej długości, który musi być umieszczony wewnątrz lub na zewnątrz pomieszczenia kotłowni przed wlotem do komina.

Jeśli emitowany hałas musi być ograniczony w dużym stopniu, np. w okolicach szpitali, zaleca się ze względu na złożoność problematyki skorzystać z pomocy eksperta w dziedzinie emisji hałasu przy projektowaniu konkretnego tłumika hałasu spalin.

### **Komin**

Zadaniem komina jest odprowadzenie spalin i zawartych w nich szkodliwych substancji do otoczenia w sposób bezpieczny oraz zapewniający niezakłócone zmieszanie ze otaczającym powietrzem w celu dostatecznego rozrzedzenia substancji szkodliwych wydalanych wraz ze spalinami. Komin powinien znajdować się blisko kotłowni, aby uniknąć prowadzenia spalin długimi kanałami i odprowadzać spaliny pionowo do góry. Ograniczanie swobodnego wylotu spalin z komina przez zakrzywioną nasadę kominową lub daszek przeciwdeszczowy jest niedopuszczalne.

### **Wysokość komina**

Minimalna wymagana wysokość komina jest określona w krajowych przepisach dotyczących utrzymania czystości powietrza..

### **Przekrój komina i ciąg kominowy**

Spaliny w kominie mają wyższą temperaturę niż powietrze atmosferyczne. Wskutek tego w kominie i wznoszących się odcinkach przewodu spalinowego występuje efekt (ciąg) kominowy. Efekt kominowy powoduje spontaniczny przepływ spalin i wytwarzanie się podciśnienia w kominie i częściach rurociągu spalinowego. Siłą napędową efektu kominowego są różnice gęstości wynikające z różnicy temperatury między powietrzem zewnętrznym i wewnętrznym w kominie.

Przekrój komina musi być na tyle duży, aby siła efektu kominowego mogła pokonać opory przepływu występujące na drodze spalin od wylotu z kotła do komina. Z drugiej strony przekrój nie może być za duży, aby spaliny utrzymywały prędkość co najmniej 6 m/s na wylocie z komina, by nie spowodować powstania zbyt dużego podciśnienia na końcu kotła, co dotyczy przede wszystkim kominów bardzo wysokich.

Przewody spalinowe powinny być w każdym wypadku wymiarowane przez firmę wyspecjalizowaną w budowie systemów odprowadzania spalin i producenta kotła.











## 6 Wytwarzanie kotłów

### 6.1 Optymalna konstrukcja kotła

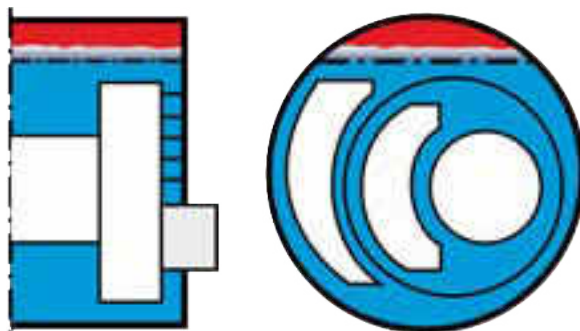
#### Koncepcja optymalnej konstrukcji dla nowoczesnego dostarczania pary

Nowoczesne kotły parowe muszą pracować efektywnie. Do tego muszą zapewniać stabilną jakość wytwarzanej pary również w momentach gwałtownych pików. Często dyskutuje się o pojemności wodnej i wielkości komory parowej kotłów parowych, chociaż to inne czynniki są tu ważniejsze. O wiele większe znaczenie dla utrzymania rezerwy mocy i stałej jakości pary w warunkach dynamicznie zmieniających się obciążań mają jakość wody, jakość pracy układu regulacji i wysokość komory parowej. Zła jakość wody odpowiada za zaburzenia poziomu wody i występowanie zjawiska pienienia, co skutkuje przerzutami wody do przewodów parowych.

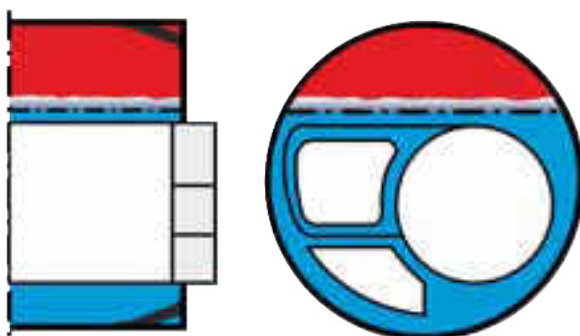
Z opisanych wyżej powodów opatentowany sposób rozmieszczenia płomienicy i ciągów płomieniówek względem siebie w kotłach Bosch (ryc. 128) jest optymalny, gdyż pozwala nadać przestrzeni parowej duże rozmiary przy niewielkiej pojemności wodnej. Przy nagłych szczytach poboru pary poziom wody w kotle podnosi się wskutek wzmożonej produkcji pęcherzyków pary. Wysoka komora parowa zmniejsza w takim wypadku ryzyko wyłączenia kotła z powodu zbyt wysokiego poziomu wody oraz redukuje do minimum porywanie wody kotłowej do układu parowego. Dodatkowo nasz inteligentny układ regulacji 3-składnikowej, sygnały pilotujące zapowiadające większe odbiory pary oraz rzadsze przewietrzanie komory spalania wymuszane każdorazowo przy starcie palnika umożliwiają szybkie i bezbłędne reagowanie na skoki zapotrzebowania na parę. Stosowane przez nas rozmaite metody projektowe typu Design by Rules i Design by Analysis (np. MES) pozwalają na utrzymanie naprężeń w projektowanej konstrukcji w niskim zakresie.

#### Inne korzyści:

- Lepsza jakość pary, szczególnie w warunkach występowania nagłych pików
- Mniejsza pojemność wodna umożliwia szybsze nagrzewanie się kotła
- Maksymalnie kompaktowa konstrukcja zmniejsza ilość potrzebnego miejsca, straty radiacyjne i postojowe
- Mniejsze obciążenie komory spalania i niższe emisje  $\text{NO}_x$



Ryc. 126 Konstrukcja kotła z umieszczonymi obok siebie ciągami



Ryc. 127 Konstrukcja kotła ze zoptymalizowaną komorą parową projektu Bosch

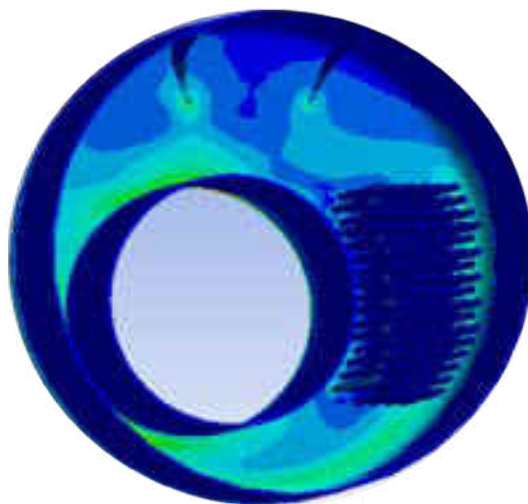
### Kotwy kątowe zamiast szpilek

W kotłach, w których komora nawrotu spalin jest zespolona za pomocą szpilek mocujących z dennicą, nie ma bezpośredniego połączenia płomienicy z dennicami. Zwłaszcza w fazie nagrzewania się kotła wskutek różnicy temperatur działają duże siły między zimnym korpusem kotła a ciepłą płomienicą. Szpilki mogą przenosić te siły tylko punktowo, co skutkuje niekorzystnym spiętrzeniem naprężeń.

#### Inne wady konstrukcji ze szpilkami mocującymi:

- Szpilki mogą ulegać niedopuszczalnym wybozczeniom
- Szpilki mogą ulec zerwaniu, szczególnie przy częstych zmianach temperatury

Konstrukcja kotłów przemysłowych Bosch została udoskonalona, nie stosuje się w nich szpilek mocujących. Dennice są stabilnie zespolone z płomienicą i za pomocą przemysłowych, zapewniających równomierny rozkład obciążeń kotew kątowych połączone z płaszczem kotła. W celu uniknięcia dodatkowych strat radiacyjnych zastosowano w obrębie włazu tylnego kotła wielowarstwową izolację kompozytową Bosch charakteryzującą się szczególnie dobrymi właściwościami izolacyjnymi. Kolejną zaletą tego rodzaju izolacji jest brak konieczności jej konserwowania przez cały cykl życia kotła, pod warunkiem prawidłowego jego rozruchu i użytkowania. Ten typ konstrukcji zastosowany w kotłach UNIVERSAL UL-S sprawdził się na przestrzeni ponad 60 lat w 80 tys. instalacji. Mamy dowody na to, że niektóre z tych pochodzących z wczesnych lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku kotłów są do dziś wciąż użytkowane.



**Ryc. 128** Kotwy kątowe zapewniają w przeciwieństwie do szpilek mocujących równomierny rozkład obciążeń i długą żywotność kotła

## 6.2 Prawidłowe spawanie płomienicy i płomieniówek

Połączenia płomienicy i płomieniówek z dennicami są w kotłach wysokociśnieniowych obszarami wrażliwymi. Połączenia te muszą być odporne na duże naprężenia i wysokie temperatury. W firmie Bosch płomieniówki są spawane przez nowoczesne automatyczne roboty spawające, a płomienice przy użyciu maszyn półautomatycznych. Spawanie tymi nowoczesnymi metodami technologicznymi umożliwia uzyskanie spoin o bardzo jednorodnej strukturze i dużej wytrzymałości. Dla spoin narażonych na skrajne obciążenia termiczne dodatkowo wykonuje się rowki chłodzące od strony wodnej, które zapewniają bardzo dobre chłodzenie grubych materiałów także przy pełnej mocy kotła.

Zrezygnowano z chłodzenia wodą wymurówki palnika na rzecz dłuższej jego trwałości, co pozwala uniknąć kosztownych napraw i konieczności przeprowadzania kolejnych prób szczelności.



Zaprojektowana przez Bosch specjalna izolacja wymurówki palnika pozwala na zminimalizowanie obciążenia cieplnego i strat radiacyjnych naszych kotłów.



Ryc. 129 Spoiny łączące płomieniówki

### 6.3 Precyzja wykonania dzięki optymalnej pozycji spawania



Ryc. 130 Walczaki w pozycjach leżących i stojących w zakładzie produkcyjnym w Gunzenhausen, Niemcy

Kotły o ciężarze dochodzącym do 120 ton mogą być bezpiecznie, szybko i delikatnie obracane, ustawiane i poddawane obróbce w idealnej poziomej pozycji przez roboty przemysłowe o bardzo dużym udźwigu. Przystarzałe urządzenia produkcyjne wymuszają często spawanie kotłów o ciężarze przekraczającym 60 ton w pozycji ukośnej, czego wynikiem może być pogorszenie jakości spoin.

Spawanie w pozycji poziomej umożliwia uzyskanie bardziej jednorodnej struktury spawu, większej głębokości penetracji spoiny, spoin pozbawionych karbów geometrycznych i generalnie najwyższej jakości i jednolitości procesu spawania.

Elementy kotłów wyposażonych w kołnierze i akcesoria według indywidualnych życzeń klienta są spawane ręcznie metodą MAG.

Aby uzyskać spoiny pozbawione porów gaz osłonowy nie może być rozwiewany podczas spawania. Nasze stanowiska pracy są zabezpieczone przed przeciągami, wyposażone w specjalne urządzenia odsysające pył i ogrzewanie sufitowe zamiast konwencjonalnych nagrzewnic wentylatorowych.

Nasze unikatowe w skali światowej maszyny do produkcji rur fałdowanych własnego projektu mogą całkowicie automatycznie produkować fałdowane płomienice o długości do dziewięciu metrów w jednym kawałku. Maszyna posiada dwanaście serwonapędów i trzy lasery pełniące funkcje kontrolne i sterujące. Dzięki zastosowaniu techniki laserowej maszyna wytwarza rury z milimetrową dokładnością. Fałdowane płomienice są kluczowym elementem w procesie produkcji kotłów, które muszą wytrzymać największe obciążenia.



**Ryc. 131** *Specjalnie skonstruowana automatyczna maszyna do spawania płomienic fałdowanych*

## 6.4 Stosowanie robotów spawających

Dla uzyskania najlepszej i stabilnej jakości w większości naszych kotłów płomieniówki są wspawane z pomocą pięciu robotów spawających. W porównaniu z powszechnie używanymi konwencjonalnymi robotami spawającymi roboty specjalne stosowane przy produkcji kotłów przemysłowych Bosch (p. ryc. 132, strona 239) oferują wiele korzyści.

Całkowicie automatyczny pomiar poszczególnych rur bez użycia dodatkowych narzędzi wyklucza błędy w ich pozycjonowaniu. Roboty są transportowane przez dźwigi, a więc mogą być szybko i bez trudu dostarczone do każdego kotła. Jakość tych spoin jest decydująca dla długiej trwałości kotła, ponieważ to właśnie spoiny płomieniówek są narażone na silne naprężenia.





Ryc. 132 Mobilny robot spawający w produkcji kotłów przemysłowych Bosch

## 6.5 Mniejsza liczba spoin zapewniająca wyższą jakość

Urządzenia produkcyjne Bosch są zaprojektowane na obróbkę dużych arkuszy blachy mierzących do 3,5 metrów szerokości. Korpusy naszych kotłów przemysłowych są więc spawane z mniejszej ilości blach, a co za tym idzie – mają mniej spoin niż to bywa zazwyczaj. Spoina może być wykonana idealnie precyzyjnie ale mimo to nadal najwyższą wytrzymałością charakteryzuje się ciągły, pozbawiony wewnętrznych naprężeń materiał.

### Pozbawiony naprężeń materiał wydłuża żywotność

Nowoczesne przecinarki plazmowe i laserowe, jakich używamy do cięcia blach przeznaczonych na zbiorniki i części ciśnieniowe kotłów, zapewniają utrzymanie tolerancji wymiarowych w wąskich granicach. Precyzja kątów i zminimalizowana ilość ciepła wprowadzanego do materiału to zalety tych technologii w porównaniu z cięciem tlenowym.

Cięcie plazmowe maszyną CNC charakteryzuje się niewielką wartością energii potrzebnej do wykonania cięcia. Ruchoma głowica (kąt wychyłu do 45 stopni) umożliwia przygotowanie sfazowania bezpośrednio w procesie cięcia. Korpusy i dennice wszystkich kotłów Bosch są obrabiane tą metodą.

Mniejsze arkusze blachy, przeznaczone na komponenty i korpusy mniejszych kotłów, są cięte laserem na automatycznej maszynie CNC. Bardzo wąskie szczeliny cięcia, gładkie krawędzie bez strzępienia pozwalają na wykorzystanie wyciętych detali do dalszych procesów bez dodatkowej obróbki.



**Ryc. 133** Nasza technologia umożliwia gięcie blach o szerokości do 3,5 m







 **BOSCH**



# Efektywność

<b>1</b>	<b>Podstawy</b>	<b>245</b>
1.1	Wartość opałowa, ciepło spalania i ciepło kondensacji	245
1.2	Sposoby podwyższenia efektywności energetycznej	247
1.3	Sprawność	248
1.4	Sprawność paleniska	248
1.5	Sprawność kotła	253
1.6	Sezonowa efektywność energetyczna	255
1.7	Sprawność całoroczna	255
1.8	Ocena kosztów eksploatacji	260
<b>2</b>	<b>Podwyższenie efektywności energetycznej paleniska</b>	<b>263</b>
2.1	Temperatura spalin i strata kominowa	263
2.2	Podwyższenie efektywności palnika	272
<b>3</b>	<b>Podwyższenie efektywności po stronie wody i kondensatu</b>	<b>279</b>
3.1	Odsalanie i odmulanie	279
3.2	Opary	282
3.3	Demineralizacja	284
3.4	Gospodarka kondensatem	284
<b>4</b>	<b>Podwyższenie efektywności kotła i instalacji</b>	<b>289</b>
4.1	Izolacja	289
4.2	Regulacja	297
4.3	Automatyczny monitoring	298
4.4	Serwis	300
<b>5</b>	<b>Kombinowanie procesów</b>	<b>305</b>
5.1	Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej	305
5.2	Wykorzystanie energii słonecznej	307







# 1 Podstawy

Koszty zużycia paliwa stanowią lwią część kosztów eksploatacji instalacji kotłowej. W ocenie efektywności energetycznej kotła czynnikiem o istotnym znaczeniu jest jego sprawność, ale nie mniej ważny jest rzeczywisty stopień wykorzystania energii.

W całości kosztów eksploatacji wchodzi, oprócz oczywiście kosztów zużycia paliwa, także koszty zużycia energii elektrycznej, środków chemicznych i wody, odprowadzania ścieków, wymiany części i przestojów.

Te koszty również należy przeanalizować i zoptymalizować.

## 1.1 Wartość opałowa, ciepło spalania i ciepło kondensacji

Wartość opałowa („dolna wartość opałowa“;  $H_u$  lub  $H_i$ ) to ilość energii wydzielonej przy całkowitym i zupełnym spalaniu paliwa, gdy produkty spalania zostały schłodzone do temperatury początkowej paliwa i powietrza przy stałym ciśnieniu, zaś cała wilgoć zawarta w spalinach pozostaje pod postacią pary. Wartość opałowa oznacza więc tylko zawartą w spalinach ilość ciepła jawnego (odczuwalnego), związanego bezpośrednio z temperaturą, natomiast nie uwzględnia ciepła, jakie można uzyskać z kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach.

Ciepło spalania („górną wartość opałową“;  $H_o$  lub  $H_g$ ) jest to ciepło uzyskana z zupełnego i całkowitego spalania paliwa, gdy produkty spalania zostały schłodzone do temperatury początkowej paliwa i powietrza przy stałym ciśnieniu, zaś cała ilość wilgoci zawarta w spalinach uległa skropleniu. Czyli ciepło spalania jest to wartość opałowa paliwa powiększona o ciepło skraplania wilgoci zawartej w spalinach nazywane inaczej ciepłem utajonym.

→ Technika – Rozdział 1.3: Entalpia, strona 112

Ciepło spalania przewyższa wartość opałową w zależności od paliwa o wartość od 6,8 % (olej opałowy) do 10,8 % (gaz ziemny E).

Parametr fizyczny	Symbol	Jednostka	Gaz ziemny L	Gaz ziemny E	Propan	Butan	Olej opałowy lekki	Olej opałowy lekki o małej zaw. siarki
Wartość opałowa dolna	$H_i$	kWh/m <sup>3</sup> kWh/kg	8,83	10,35	25,89	34,39	11,89	11,89
Wartość opałowa górna	$H_s$	kWh/m <sup>3</sup> kWh/kg	9,78	11,46	28,12	37,23	12,70	12,70
Stosunek	$H_i / H_s$	%	110,8	110,7	108,6	108,3	106,8	106,8
Punkt rosy	$t_{kond}$	°C	56,9	57,0	53,1	52,4	48,6	48,6
Kwasowy punkt rosy	$t_{kond}$	°C	–	–	–	–	124	97
Wytwarzanie wody <sup>1)</sup>	$W_{spez,H_2O}$	g <sub>H<sub>2</sub>O</sub> /kWh	159,4	158,5	126,9	122,0	100,5	100,5
Wartość pH	pH	–	2,8 ... 4,9	2,8 ... 4,9	2,8 ... 4,9	2,8 ... 4,9	1,8 ... 3,7	2,3 ... 4,5

Tab. 24 Charakterystyka różnych paliw

<sup>1)</sup> W odniesieniu do  $H_i$

Nowoczesne wymienniki ciepła budowane z materiałów odpornych na korozję wywołaną przez kondensat, np. z różnych gatunków stali nierdzewnej wykorzystują zjawisko kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach, pozyskując energię cieplną wydzielaną w tym procesie. Energia ze spalania paliwa zostaje więc powiększona o energię pozyskaną z kondensacji, wobec czego sprawność kotła może matematycznie wynieść powyżej 100 %.

→ Efektywność – Rozdział 2.1.2: Ekonomizer kondensacyjny, strona 265

Sprawność kotła oblicza się zawsze w odniesieniu do wartości opałowej paliwa, ponieważ dawniej kotły nie mogły wykorzystywać możliwości kondensacji ze względu na korozyjne działanie kondensatu. Aby uniknąć korozji kotła i systemu odprowadzania spalin oraz gromadzenia się sadzy w kominie para wodna musiała bezwzględnie pozostać w spalinach w postaci gazowej.

Do racjonalnego wykorzystania techniki kondensacji jest potrzebny chłodny czynnik o temperaturze  $\geq 10$  K poniżej temperatury punktu rosy spalin, a więc maksymalnie  $45$  °C w przypadku gazu ziemnego.



Ryc. 134 Bilans cieplny wytwornicy pary z wykorzystaniem techniki kondensacyjnej i paliwem opalanym gazem (wartości przykładowe)



## 1.2 Sposoby podwyższenia efektywności energetycznej

Przy sporządzaniu bilansu kotłowni parowej dla wyznaczonego obciążenia na podstawie strumieni ciepłych wnoszonych przez substraty i unoszonych przez produkty szybko staje się widoczne, ile energii cieplej jest traconej bezużytecznie. Czynniki doprowadzanymi z zewnątrz są paliwo, powietrze do spalania, woda zasilająca i energia elektryczna, np. do zasilania pomp i wentylatora palnika.

Czynniki odprowadzanymi na zewnątrz są, oprócz oczywiście ciepła użytkowego zawartego w parze, wszelkie straty ciepła uchodzącego ze spalinami, odsolinami i odmulinami oraz straty przez promieniowanie i przewodzenie na powierzchni kotła.

Wszystkie te straty można zminimalizować wykorzystując odpowiednie metody odzysku ciepła. Wybór optymalnych metod winien być podyktowany najlepszym stosunkiem korzyści do kosztów. Stosunek ten będzie różny dla każdej instalacji i mocno zależny od sposobu eksploatacji całej kotłowni. W tabeli poniżej wymieniono sposoby podwyższenia efektywności energetycznej. Większość z nich można też łączyć ze sobą.

Sposób podwyższenia efektywności energetycznej	Potencjał oszczędności	→ Strona
Ekonomizer	≤ 7 % paliwa	→ strona 263
Ekonomizer kondensacyjny	≤ 7 % paliwa	→ stronaSeite 247265
Podgrzewanie powietrza	≤ 2,5 % paliwa	→ stronaSeite 247267
Chłodzenie wody zasilającej	≤ 1,8 % paliwa ≤ 3 % paliwa w kotle z 4-tym ciągiem	→ stronaSeite 247269
Rozprężanie odsolin i odzysk ciepła	≤ 2 % paliwa, wody świeżej, wody ściekowej	→ stronaSeite 247279
Regulacja spalania przez pomiar zawartości tlenu i tlenku węgla w spalinach	≤ 0,5 % paliwa	→ stronaSeite 247272
Wentylator palnika z regulowaną prędkością obrotową	≤ 75 % kosztów zużycia energii elektrycznej	→ stronaSeite 247272
Wymiennik ciepła do odzysku ciepła z oparów	≤ 0,5 % paliwa	→ stronaSeite 247282
Wysokociśnieniowy system kondensatu	≤ 12 % paliwa, wody świeżej	→ stronaSeite 247286
Automatyczna i ciągła analiza wody	≤ 0,5 % paliwa, chemii korekcyjnej, kosztów personelu	→ stronaSeite 247298
Optymalizacja parametrów regulacji, regularny serwis, konserwacje, czyszczenie	≤ 3 % paliwa, dłuższa przydatność do użytku, bezpieczeństwo procesów	→ stronaSeite 247300
Przygotowanie wody metodą odwróconej osmozy	≤ 3 % paliwa, świeżej wody, środków chemicznych	→ stronaSeite 247284

**Tab. 25** Sposoby podwyższenia efektywności energetycznej i ukryty w nich potencjał oszczędności

### 1.3 Sprawność

Sprawność to stosunek ilości energii oddanej do energii pobranej. W kontekście kotła parowego sprawność jest stosunkiem energii cieplnej oddanej w postaci pary do doprowadzonej z zewnątrz energii cieplnej w postaci paliwa. Sprawność jest miarą efektywności przekształcania energii przez kocioł. Sprawność kotłowni parowej jest warunkowana sprawnością instalacji paleniskowej pomniejszonej o straty ciepła oddawanego do otoczenia przez promieniowanie i przewodzenie na powierzchni kotła. Co ważne, sprawność jest zdefiniowana tylko dla nowego urządzenia na podstawie jego znamionowej mocy lub wyznaczonej mocy częściowej w stanie ustalonym.

Straty występujące w procesach rozruchu i wyłączenia kotła, odsalania i odmulania, wynikające z zabrudzenia powierzchni wymiany ciepła, związane z przygotowaniem wody zasilającej oraz straty ciepła na przesyle nie są brane pod uwagę.

$$\text{Sprawność } \eta = \frac{\text{Energia oddana}}{\text{Energia pobrana}} = \frac{\text{Energia cieplna pary}}{\text{Energia cieplna paliwa}}$$



$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{para}}}{\dot{Q}_{\text{paliwo}}}$$



**Wzór 26** Wzór na obliczenie sprawności

$\dot{Q}_{\text{para}}$	Moc cieplna pary [kW]
$\dot{Q}_{\text{paliwo}}$	Moc cieplna paliwa [kW]

### 1.4 Sprawność paleniska

Sprawność paleniska  $\eta_{\text{palenisko}}$  wyraża jawną (odczuwalną) energię cieplną wytwarzaną w palenisku w procesie spalania paliwa doprowadzonego do paleniska. Oblicza się ją jako stratę ciepła unoszonego przez spaliny (strata kominowa)  $q_{\text{spaliny}}$  w odniesieniu do temperatury otoczenia. Przy spalaniu oleju i gazu nie bierze się pod uwagę strat cieplnych w wyniku niedopalenia składników paliwa, ponieważ w praktyce nie występują one w wielkościach mających wpływ dla obliczeń.

→ Efektywność – Rozdział 1.1: Wartość opałowa, ciepło spalania i ciepło kondensacji, strona 245

Sprawność paleniska odnosi się do wartości opałowej paliwa, oblicza się ją odejmując stratę kominową od maksymalnych możliwych do uzyskania 100 %.

$$\eta_{\text{PALENISKO}} = 100 \% - q_{\text{spaliny}}$$



**Wzór 27** Wzór na obliczenie sprawności paleniska





### Współczynnik nadmiaru powietrza

Współczynnik nadmiaru powietrza wyraża stosunek rzeczywistej ilości (masy) powietrza doprowadzonego do spalania do ilości stechiometrycznie potrzebnej do spalania paliwa:

$$\lambda = \frac{m_{\text{pow}}}{m_{\text{pow,st}}}$$

Uprozczone równanie do przeliczenia zawartości tlenu w spalinach dotyczy tylko stosunku spaliny/powietrze  $\sim 1$ .

$$\lambda \approx \frac{21\%}{21\% - O_2}$$



→ Ryc. 135, strona 251

$\lambda$	Współczynnik nadmiaru powietrza
$m_{\text{pow}}$	Ilość (masa) powietrza rzeczywista
$m_{\text{pow, st}}$	Ilość (masa) powietrza stechiometryczna
$O_2$	Zawartość tlenu [% obj.]

Do obliczenia straty kominowej określa się zawartość  $CO_2$  lub  $O_2$  w spalinach i różnicę między temperaturą spalin i temperaturą otoczenia. Dodatkowo są potrzebne maksymalna zawartość  $CO_2$  w spalinach właściwa dla danego paliwa i współczynnik Siegerta  $f$  zależny od zmierzonej zawartości  $O_2$ .

$$q_A = \frac{f}{CO_{2,\text{max}}} \cdot \frac{21\%}{21\% - O_2} \cdot (t_{\text{spal}} - t_{\text{pow}})$$



**Wzór 28** Wzór na obliczenie straty kominowej

$f$	Współczynnik Siegerta, liniowa zależność od współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda$ [bar]
$CO_{2,\text{max}}$	Maksymalna zawartość tlenku węgla w suchych spalinach [% obj.]
$O_2$	Zmierzona zawartość tlenu w suchych spalinach [% obj.]
$t_{\text{spal}}$	Zmierzona temperatura spalin [°C]
$t_{\text{pow}}$	Stała temperatura odniesienia i temperatura powietrza do spalania 25 °C zgodnie z normą EN 12953 Część 11

Jeśli w suchych spalinach jest mierzona tylko zawartość dwutlenku węgla, stosuje się następujące przeliczenie:

$$O_{2,r} = 21\% \cdot \left(1 - \frac{CO_2}{CO_{2,max}}\right)$$



**Wzór 29** Wzór na obliczenie zawartości tlenu resztkowego na podstawie zawartości tlenu węgla

$O_{2,r}$	Obliczona zawartość tlenu w suchych spalinach [% obj.]
$CO_2$	Zmierzona zawartość tlenu węgla w suchych spalinach [% obj.]
$CO_{2,max}$	Maksymalna zawartość tlenu węgla w suchych spalinach [% obj.]

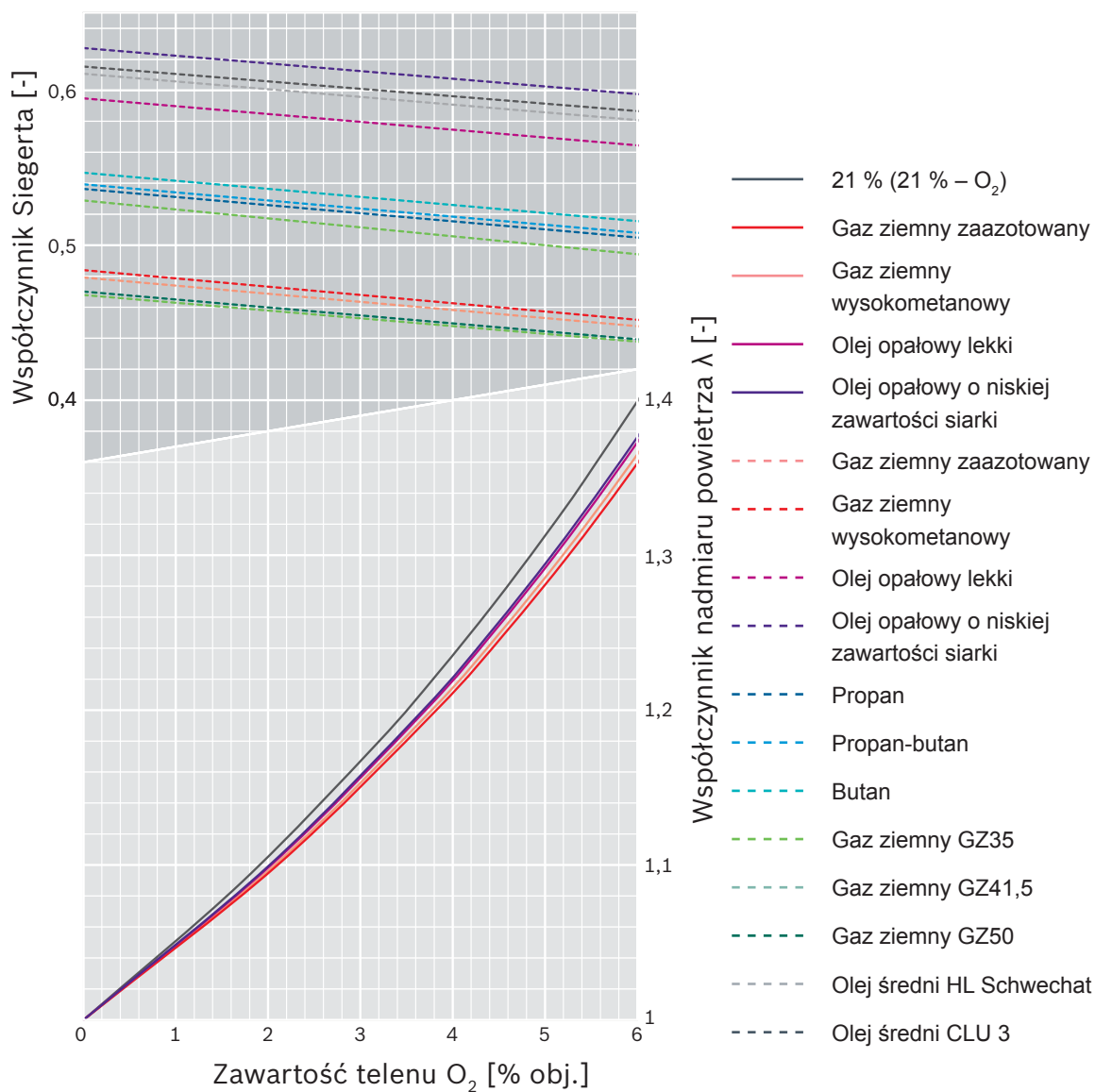
Paliwo	$CO_{2,max}$	Współczynnik Siegerta	
		$f_1 = f(O_2 = 0 \%)$	$f_2 = f(O_2 = 5 \%)$
Gaz ziemny zaazotowany	11,67 %	0,4792	0,4530
Gaz ziemny wysokometanowy	11,94 %	0,4731	0,4469
Olej opałowy lekki	15,31 %	0,4535	0,4342
Olej opałowy o niskiej zaw. siarki	16,02 %	0,4570	0,4389
Propan	13,69 %	0,4575	0,4352
Propan-Butan	13,78 %	0,4570	0,4349
Butan	13,99 %	0,4563	0,4346
Gaz ziemny GZ35	11,12 %	0,4871	0,4611
Gaz ziemny GZ41,5	11,67 %	0,4604	0,4358
Gaz ziemny GZ50	11,67 %	0,4835	0,4569
Olej średni HL Schwechat	15,72 %	0,4534	0,4348
Olej średni CLU 3	16,11 %	0,4458	0,4285

**Tab. 26** Wartości współczynników Siegerta dla różnych paliw

Obliczanie współczynnika Siegerta dla dowolnej zawartości tlenu w suchych spalinach  $O_2$ :

$$f(O_2) = f_1 + \frac{f_2 - f_1}{5\% - 0\%} \cdot O_2$$





Ryc. 135 Zależność między zawartością tlenu w suchych spalinach, współczynnikiem nadmiaru powietrza i współczynnikiem Siegerta

**Uwagi:**

- Do współczynnika nadmiaru powietrza: gaz ziemny GZ 41,5/50, propan, butan, propan-butan niemalże pokrywają się z gazem ziemnym zaazotowanym, dlatego nie są zilustrowane na wykresie;
- Olej średni CLU 3 i olej średni HL Schwechat znajdują się między krzywymi oleju opałowego lekkiego i oleju opałowego o niskiej zawartości siarki, dlatego nie są zilustrowane na wykresie.

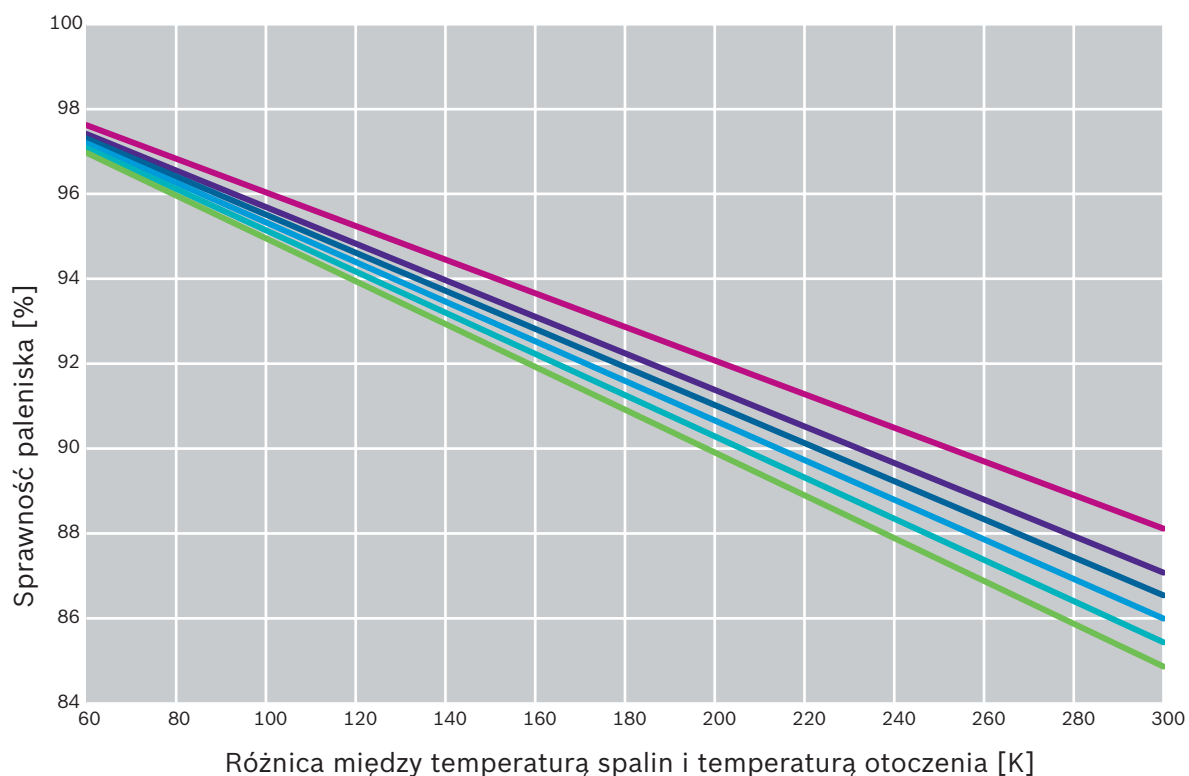
W kotle parowym sprawność paleniska rośnie od pełnego obciążenia do około 35 % częściowego obciążenia. Nadmiar powietrza, a wraz z nim zmierzona zawartość CO<sub>2</sub> w suchych spalinach, wzrastają tylko nieznacznie, podczas gdy temperatura spalin spada dzięki lepszemu wykorzystaniu powierzchni wymiany ciepła w kotle. Przy obciążeniu częściowym < 35 % przeważa natomiast niezbędny tu większy nadmiar powietrza, a sprawność paleniska ponownie maleje.

→ Ryc. 144, strona 265

Sprawność paleniska może być obliczona podczas pomiaru emisji przez kominiarza lub przez serwisanta. Nie uwzględnia się tu strat ciepła przez promieniowanie i przewodzenie na powierzchni kotła.

Wykres poniżej przedstawia zależność sprawności paleniska od temperatury spalin przy różnych współczynnikach nadmiaru powietrza dla gazu ziemnego wysokometanowego. Im wyższa temperatura spalin, tym mniejsza sprawność.

Na wykresie wyraźnie widać, że zwłaszcza przy wysokich temperaturach spalin odzysk ciepła jest szczególnie efektywny dzięki mniejszemu nadmiarowi powietrza, a więc mniejszym wartościom współczynnika  $\lambda$ .



**Ryc. 136** Przebieg sprawności w zależności od współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda$  bez kondensacji, na przykładzie gazu ziemnego wysokometanowego

- $\lambda = 1$  (O<sub>2</sub> = 0 %)
- $\lambda = 1,1$  (O<sub>2</sub> = 2,14 %)
- $\lambda = 1,15$  (O<sub>2</sub> = 3,09 %)
- $\lambda = 1,2$  (O<sub>2</sub> = 3,96 %)
- $\lambda = 1,25$  (O<sub>2</sub> = 4,77 %)
- $\lambda = 1,3$  (O<sub>2</sub> = 5,52 %)



## 1.5 Sprawność kotła

Sprawność kotła  $\eta_K$  odpowiada różnicy sprawności paleniska i strat ciepła oddawanego przez powierzchnię kotła do otoczenia w kotłowni w fazie pracy palnika. Można ją obliczyć według wzoru:

$$\eta_K = 100\% - q_{\text{spal}} - \frac{\dot{Q}_{\text{str,k}}}{\dot{Q}_{\text{palenisko}}}$$

lub

$$\eta_K = \frac{(\dot{Q}_{\text{palenisko}} - \dot{q}_A) \cdot (\dot{Q}_{\text{palenisko}} - \dot{Q}_{\text{str,k}})}{\dot{Q}_{\text{palenisko}}}$$



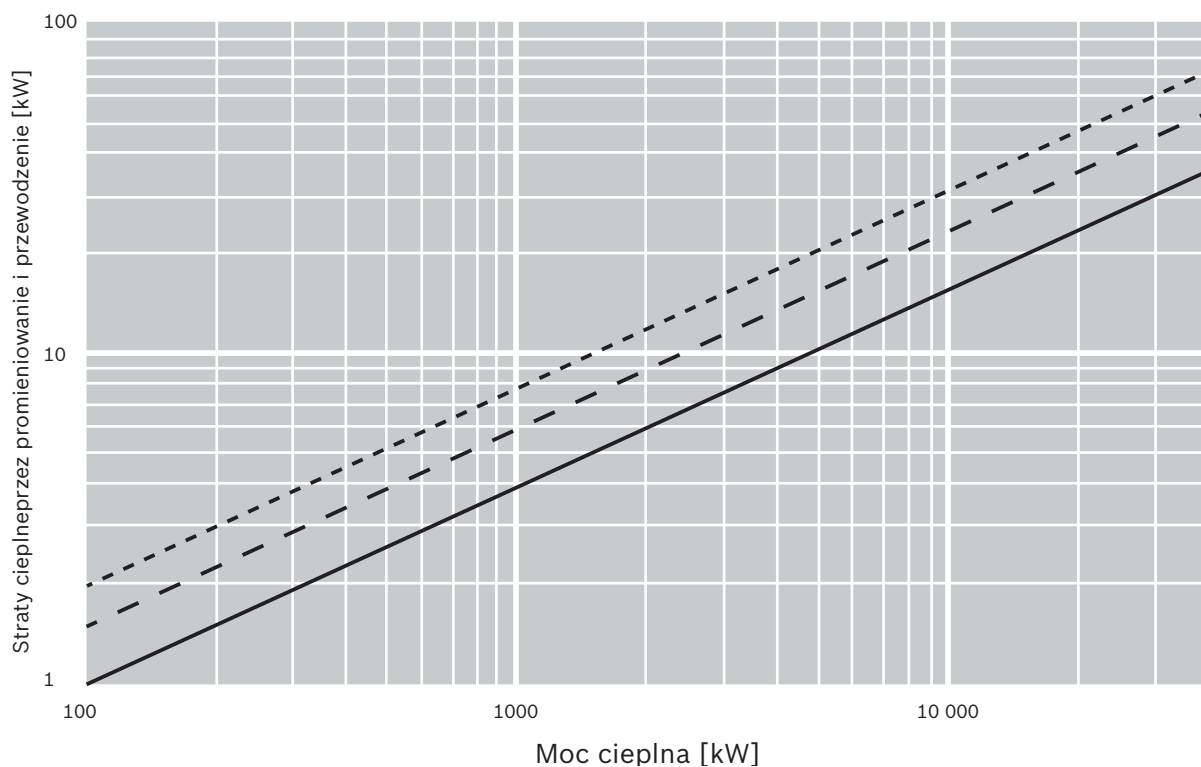
**Wzór 30** Wzór na obliczenie sprawności kotła

$\eta_K$	Sprawność kotła
$q_{\text{spal}}$	Strata kominowa, w oparciu o moc paleniska i dolną wartość opałową [%]
$\dot{Q}_{\text{str,k}}$	Moc strat ciepłych na powierzchni kotła [kW]
$\dot{Q}_{\text{palenisko}}$	Aktualna moc cieplna paleniska [kW]

→ Informacja Techniczna TI005: Straty ciepłe przez promieniowanie i przewodzenie

Ogólnie rzecz biorąc nie da się łatwo zmierzyć czy obliczyć strat ciepłych przez promieniowanie i przewodzenie  $\dot{Q}_{\text{str,k}}$ , przyjmuje się więc wartości empiryczne zgodnie z EN 12963 Część 11. Są one zależne po pierwsze od znamionowej mocy cieplnej danego typu kotła, a po drugie od temperatury czynnika po stronie wody/pary we wnętrzu kotła, a więc tym samym od ciśnienia roboczego.

Te straty ciepłe są niezależne od aktualnego obciążenia kotła i stanu roboczego palnika, przy tym samym ciśnieniu roboczym zawsze są takie same. W odniesieniu do sprawności kotła oznacza to, że im mniejsze jest aktualne obciążenie palnika, tym większe znaczenie mają te straty ciepłe. Straty ciepłe przez promieniowanie występują nawet wtedy gdy palnik jest wyłączony. Podczas przestojów kotła, np. w weekendy czy nocą, można zredukować te straty obniżając ciśnienie robocze, a więc i temperaturę roboczą.



**Ryc. 137** Straty ciepłe przez promieniowanie i przewodzenie w zależności od znamionowej mocy cieplnej kotła i średniej temperatury czynnika w kotle przy izolacji o grubości 100 mm

- Średnia temperatura czynnika 100 °C
- - - - Średnia temperatura czynnika 150 °C
- ..... Średnia temperatura czynnika 200 °C

W swoich dokumentacjach producenci kotłów podają sprawność paleniska i sprawność kotła dla znamionowej mocy i niekiedy jeszcze dla obciążenia częściowego, np. przy 75 %, 50 % i 25 %. Jednakże w warunkach normalnych kotłownia parowa pracuje we wszystkich zakresach obciążenia częściowego. Gdy odbiór pary jest bardzo mały kocioł pracuje w trybie z długimi okresami wyłączenia palnika.

Sprawność kotła nie może być zatem jednoznacznym wyznacznikiem efektywności energetycznej. W miarodajnej ocenie efektywności energetycznej należy odpowiednio uwzględnić czasy, jakie kocioł spędza na przestojach i w trybie pracy z palnikiem. Jako kolejne kryterium oceny trzeba więc określić stopień wykorzystania kotła.



## 1.6 Sezonowa efektywność energetyczna

Sezonowa efektywność energetyczna jest to stosunek energii oddanej do energii pobranej w określonym okresie czasu (zazwyczaj jest to jeden rok). W odniesieniu do instalacji kotłowej jest to stosunek oddanego ciepła użytkowego do doprowadzonej z zewnątrz energii cieplnej w postaci paliwa.

$$\text{Sezonowa efektywność energetyczna } \eta = \frac{\text{Energia oddana}}{\text{Energia pobrana}}$$



$$\eta = \frac{\int \dot{Q}_{\text{para}} dt}{\int \dot{Q}_{\text{palenisko}} dt}$$



**Wzór 31** Wzór na obliczenie sezonowej efektywności energetycznej

$\eta$	Sezonowa efektywność energetyczna [%]
$\int \dot{Q}_{\text{para}} dt$	Moc cieplna pary zsumowana w rozpatrywanym okresie czasu [MWh]
$\int \dot{Q}_{\text{palenisko}} dt$	Moc cieplna paleniska zsumowana w rozpatrywanym okresie czasu [MWh]

Sezonowa efektywność energetyczna jest wielkością mającą decydujące znaczenie dla ekonomiki użytkowania całej instalacji. To kryterium obejmuje wszelkie straty, a więc także straty postojowe, występujące w procesach rozruchu i wyłączania kotła, związane ze zmianami obciążenia, odsalaniem i odmulaniem, straty na przesyle i zbiornikach (np. przy termicznym odgazowaniu wody).

Sezonową efektywność energetyczną można zmierzyć jedynie przy pomocy liczników ciepła na odbiorach i liczników paliwa, zazwyczaj pomiary takie są prowadzone tylko w rozbudowanych systemach zarządzania energią.

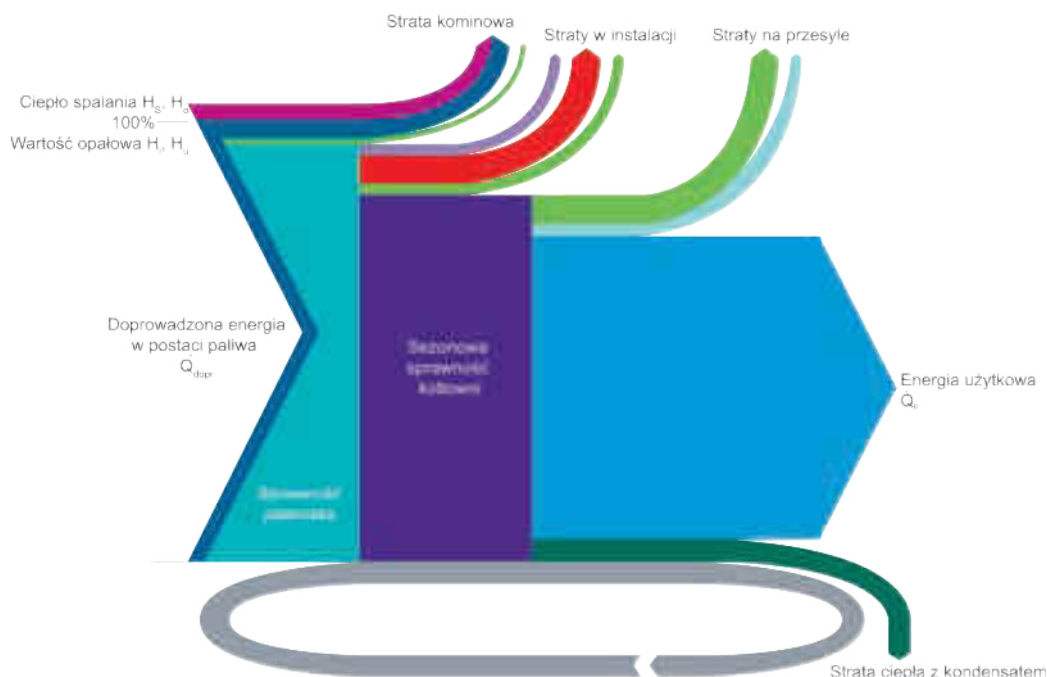
## 1.7 Sprawność całoroczna

$$\eta_a = \text{Całoroczna sprawność kotła [%]}$$



Doprowadzona z zewnątrz całoroczna energia cieplna  $Q_{\text{dopr}}$  a jest określana na podstawie rzeczywiście zużytej energii cieplnej w postaci paliwa. W tym celu mierzy się zużycie paliwa przy pomocy liczników gazu lub oleju i mnoży przez odpowiednią wartość opałową paliwa.





Ryc. 138 Wykres Sankeya (wykres przepływu energii) dla kotłowni parowej

- Ciepło utajone w spalinach
- Ciepło jawne w spalinach
- Promieniowanie i przewodzenie (włącznie ze stratą postojową)
- Przewietrzanie komory paleniskowej wymuszone przed każdym zapłonem palnika
- Odsalanie i odmulanie, opary
- Wycieki (ze spustów kondensatu, z rurociągów)
- Wycieki (ze spustów kondensatu, z rurociągów)
- Zawracanie kondensatu do kotłowni

Rzeczywiście zużywana podczas eksploatacji energia  $Q_u$ , a jest obliczana przy pomocy liczników pary i kalkulatora ciepła. Kalkulator przelicza przepływ pary i ciśnienie pary oraz ewentualnie temperaturę pary na zawartą w parze energię cieplną.

Po zsumowaniu całorocznych pomiarów i podzieleniu przez energię zawartą w paliwie otrzymujemy całoroczną sprawność kotła.

W kryterium tym są zatem ujęte wszelkie występujące w toku eksploatacji straty, takie jak strata kominowa, straty ciepła w instalacji, straty związane z przesylem oraz ciepło tracone z bezużytecznie odprowadzanym kondensatem.

Przy 95 % sprawności kotła rzeczywiste jego wykorzystanie w ciągu roku może sięgać zaledwie 60 %. Zwłaszcza wtedy, gdy przeciętne obciążenie kotła jest niewielkie, straty przez promieniowanie i przewodzenie (niezależne od obciążenia kotła) są bardzo duże w stosunku do energii dostarczonej z paliwem. Dodatkowo dochodzą jeszcze straty wskutek przewietrzania kotła, wymuszanego każdorazowo przed zapłonem palnika, oraz straty związane z przygotowaniem wody.

Jeżeli kocioł pracuje bardzo często na obciążeniu tylko częściowym, to straty mogą pochłaniać nawet aż 20 – 40 % paliwa zużywanego do zasilania kotłowni.



$$\text{Całoroczna sprawność kotła } \eta_a = \frac{\text{Energia oddana}}{\text{Energia pobrana}}$$



$$\eta_a = \frac{Q_{u,a}}{Q_{dopr,a}}$$



**Wzór 32** Wzór na obliczenie całorocznej sprawności kotła

$\eta_a$	Oznacza rok (można też określić sprawność miesięczną albo tygodniową)
$Q_{u,a}$	Energia użytkowa rocznie [MWh]
$Q_{dopr,a}$	Energia doprowadzona rocznie [MWh]

### Sprawność kotła z wykorzystaniem ciepła kondensacji

Produktem spalania węglowodorów łańcuchowych, jakie występują w większości paliw ciekłych i gazowych, są spaliny zawierające oprócz dwutlenku węgla także wodę. W spalinach mających wysoką temperaturę woda ta przybiera postać gazową.

Gdy temperatura spalin w wyniku zetknięcia się z chłodnymi powierzchniami wymiennika ciepła spadnie poniżej tzw. punktu rosy zawarta w spalinach para wodna ulega częściowemu skropleniu oddając duże ilości ciepła. To ciepło kondensacji można wykorzystać.

Wzór na obliczenie sprawności kotła z wykorzystaniem ciepła kondensacji jest bardziej rozbudowany w porównaniu ze wzorem na sprawność kotła bez wykorzystania ciepła kondensacji:

$$\eta_{K, \text{ciepło spal}} = \eta_{K, \text{na sucho}} + \frac{H_s - H_i}{H_s} \cdot \alpha$$



**Wzór 33** Wzór na obliczenie sprawności kotła z wykorzystaniem ciepła kondensacji

$\eta_{K, \text{ciepło spal}}$	Sprawność kotła z wykorzystaniem ciepła kondensacji
$\eta_{K, \text{na sucho}}$	Sprawność kotła bez wykorzystania ciepła kondensacji
$H_s$	Górna wartość opałowa (ciepło spalania) [kWh/kg]
$H_i$	Dolna wartość opałowa [kWh/kg]
$\alpha$	Współczynnik kondensacji (udział kondensatu)

Współczynnik kondensacji wyraża stosunek między powstającą praktycznie i możliwą teoretycznie ilością kondensatu w spalinach i ma wartość najczęściej 0,3 – 0,6, w zależności od obliczeń.

Sprawność kotła sięgająca powyżej 100 % przy wykorzystaniu techniki kondensacji nie jest żadnym perpetuum mobile, a jedynie wynikiem oparcia obliczeń na wartości opałowej  $H_i$ . Gdyby oprzeć obliczenia sprawności kotłów nie na wartości opałowej, ale fizycznie właściwszym ciepłem spalania  $H_s$ , to wartość 100 % byłoby maksymalną możliwą do uzyskania sprawnością bez żadnych strat. Aby jednak możliwe było porównanie z instalacjami konwencjonalnymi, zdecydowano o pozostaniu przy wartości opałowej jako podstawie obliczeń także dla instalacji wykorzystujących technikę kondensacji.

→ Ryc. 134, strona 246

O różnicy między wartością opałową i ciepłem spalania stanowi zawarte w spalinach ciepło utajone, możliwe do uzyskania poprzez skroplenie obecnej w spalinach pary wodnej.

Poniższy wykres ma unaocznic korzyść ekonomiczną płynącą z wykorzystania ciepła kondensacji spalin.

W przypadku gazu sprawność kotła rośnie liniowo wraz ze spadkiem temperatury spalin do momentu gdy spaliny zaczynają się skraplać (gdy powierzchnie wymiany ciepła osiągną temperaturę ok. 56 °C). Gdy zaczyna się kondensacja spalin to już nie spadek temperatury, ale przede wszystkim stopień kondensacji  $\alpha$  zawartej w spalinach pary wodnej ma znaczenie decydujące. Niebieskie linie przerywane na wykresie oznaczają różne stopnie kondensacji 25, 50, 75 i 100 %. Przy odpowiednio wysokim stopniu kondensacji sprawność dalej rośnie skokowo.

Specjalna konstrukcja kondensacyjnego wymiennika ciepła pozwala na wykroplenie znacznych ilości zawartej w spalinach pary wodnej już przy bardzo niskich temperaturach wody na wlocie do wymiennika (np. wody uzupełniającej o temperaturze 15 °C) nawet gdy temperatura spalin mierzona w kominie jest wyraźnie wyższa od punktu rosy spalin.

Na wykresie przykład dla gazu ziemnego wysokometanowego pokazuje uzyskanie sprawności 100,9 % przy stopniu kondensacji 34 % i zmierzonej przeciętnej temperaturze spalin 75 °C.

→ Ryc. 139, strona 259

Innym, obok ilości pary wodnej, czynnikiem decydującym o stopniu kondensacji  $\alpha$  jest możliwie duża różnica między temperaturą wody na wlocie do wymiennika i minimalną temperaturą kondensacji, co pokazują na wykresie krzywa sprawności w kolorze czerwonym (gaz ziemny wysokometanowy) i krzywa w kolorze fioletowym (olej opałowy lekki) zależna tylko od temperatury.

Obszar w kolorze niebieskim stanowi możliwy technicznie do uzyskania zakres kondensacji spalin dla kotłowni parowych.

#### 1 Przykład 1:

- Ekonomizer
- Współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda_{\square} = 1,1$
- Temperatura wody zasilającej na wlocie do ekonomizera 103 °C
- Temperatura spalin na wylocie 126 °C

#### Gaz ziemny wysokometanowy

- Temperatura wylotowa spalin 126 °C
- Sprawność kotła 95,4 %

#### Olej opałowy lekki:

- Abgasaustrittstemperatur 126 °C
- Wirkungsgrad 95,6 %

#### 2 Przykład 2:

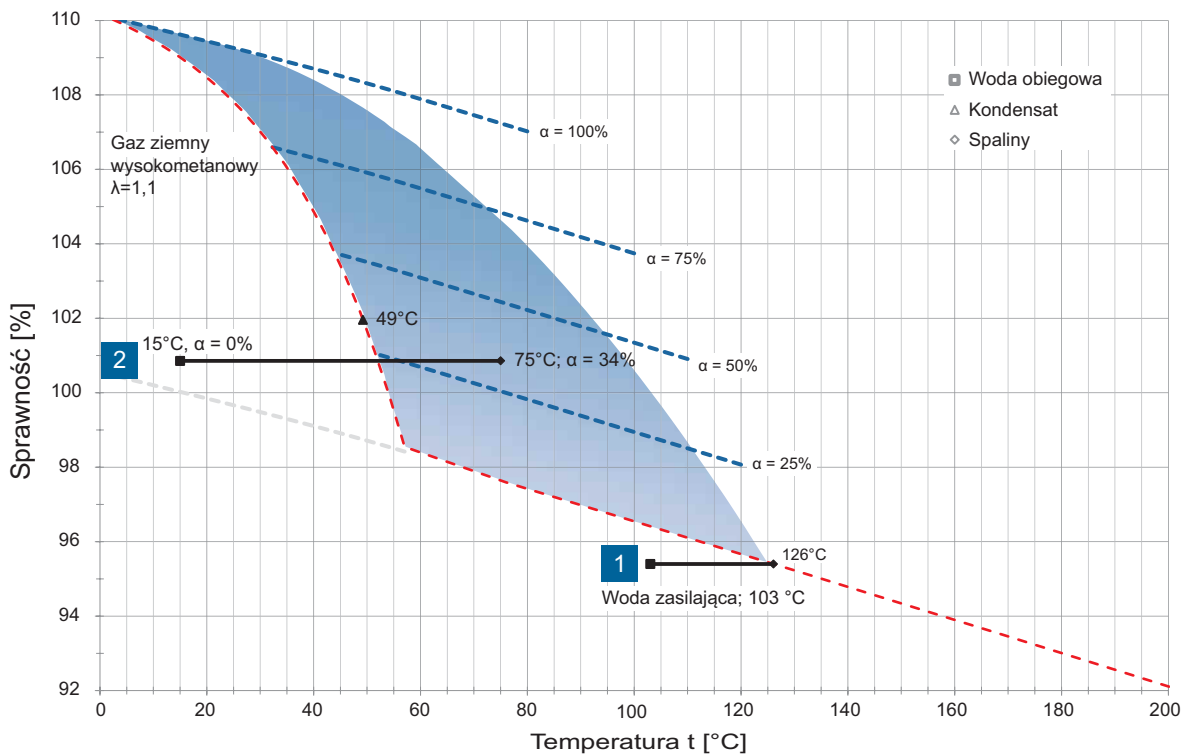
- Ekonomizer kondensacyjny
- Współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda_{\square} = 1,1$
- Temperatura wody uzupełniającej na wlocie do ekonomizera 15 °C

#### Gaz ziemny wysokometanowy

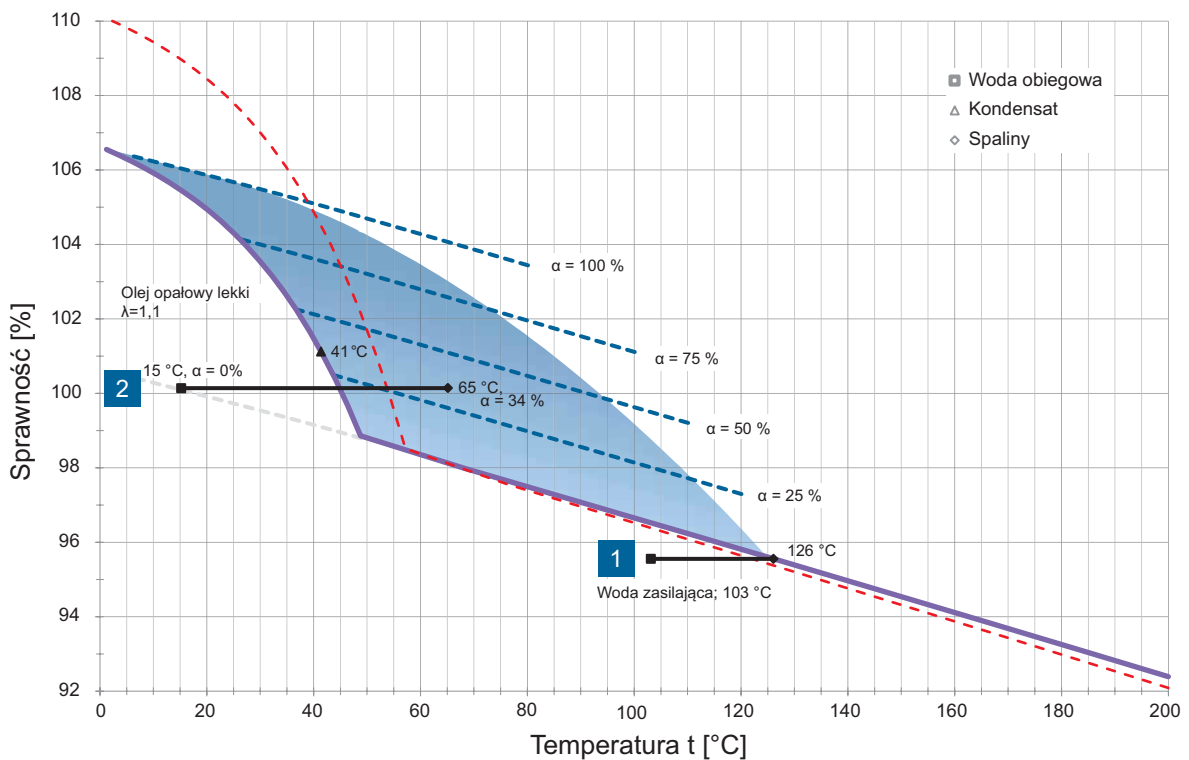
- Temperatura wylotowa spalin 75 °C
- Stopień kondensacji w ekonomizerze kondensacyjnym  $\alpha_{\square} = 34 \%$
- Temperatura kondensatu 49 °C
- Sprawność kotła 100,9 %

#### Olej opałowy lekki:

- Temperatura wylotowa spalin 65 °C
- Stopień kondensacji w ekonomizerze kondensacyjnym  $\alpha_{\square} = 34 \%$
- Temperatura kondensatu 41 °C
- Sprawność kotła 100,2 %



Ryc. 139 Sprawność kotła w funkcji temperatury spalin dla gazu ziemnego wysokometanowego ( $H_i = 10,35 \text{ kWh/m}^3$ ,  $T_{\text{pow}} = 20^\circ\text{C}$ )



Ryc. 140 Sprawność kotła w funkcji temperatury spalin dla oleju opałowego lekkiego ( $H_i = 11,89 \text{ kWh/kg}$ ,  $T_{\text{pow}} = 20^\circ\text{C}$ )

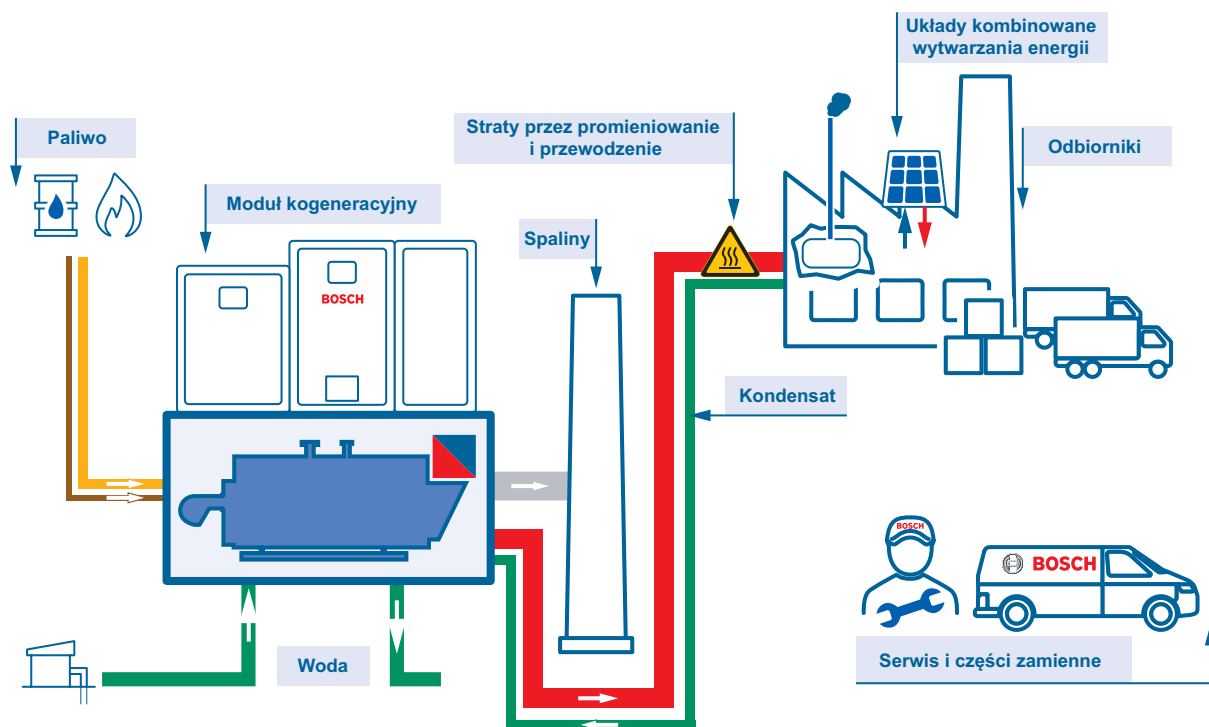
W przypadku oleju należy zwrócić uwagę na to, że ze względu na skład paliwa różny od składu gazu spaliny zawierają mniej pary wodnej, więc odpowiednio mniej będzie także ciepła uzyskanego drogą kondensacji.

## 1.8 Ocena kosztów eksploatacji

Dla utrzymania kosztów eksploatacji instalacji kotłowej na jak najniższym poziomie istotne znaczenie ma uzyskana rzeczywista całoroczna sprawność kotła. Do kosztów eksploatacji należy dodać jeszcze koszty zużycia energii elektrycznej do zasilania wentylatorów i pomp, koszty odprowadzania ścieków i doprowadzenia wody i wreszcie wydatki na obsługę, konserwację i wymagane inspekcje/badania kotła.

Kompleksowa ocena kosztów eksploatacji powinna obejmować:

- bilans materiałowo-energetyczny kotła,
- bilans materiałowo-energetyczny kompletnej kotłowni parowej włącznie z przygotowaniem wody, wszystkimi rurociągami, wszystkimi odbiornikami i systemem kondensatu,
- wpływ czynników warunkowanych eksploatacją i konserwacją na instalację,
- możliwości optymalizacji poprzez łączenie z innymi technologiami wytwarzania energii, np. jednoczesne wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła czy wykorzystanie energii słonecznej.



Ryc. 141 Czynniki mające wpływ na koszty eksploatacji kotłowni parowej









## 2 Podwyższenie efektywności energetycznej paleniska

### 2.1 Temperatura spalin i strata kominowa

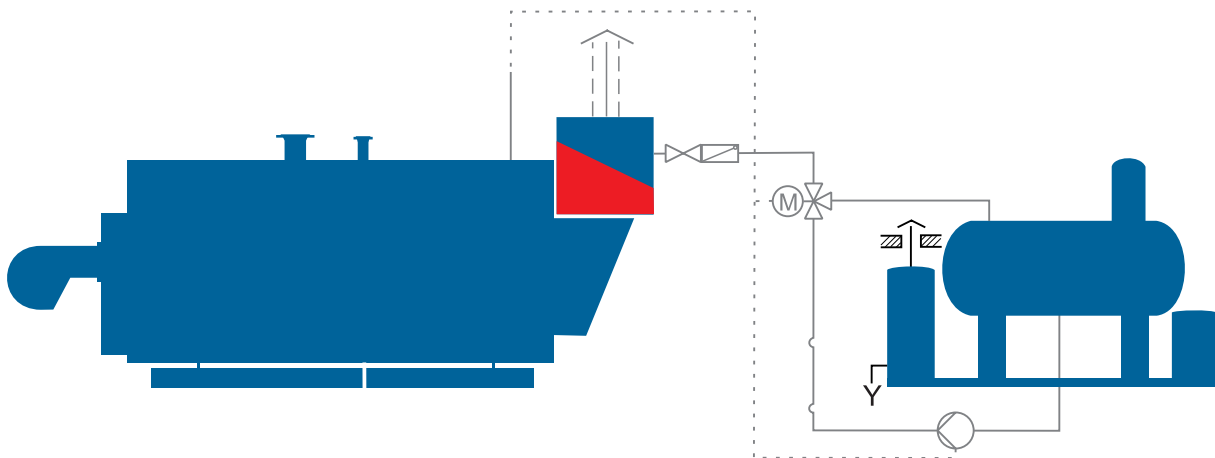
#### 2.1.1 Ekonomizer

Temperatura spalin opuszczających kocioł parowy w normalnych warunkach przewyższa o ok. 60 K temperaturę pary nasyconej znajdującej się we wnętrzu kotła.

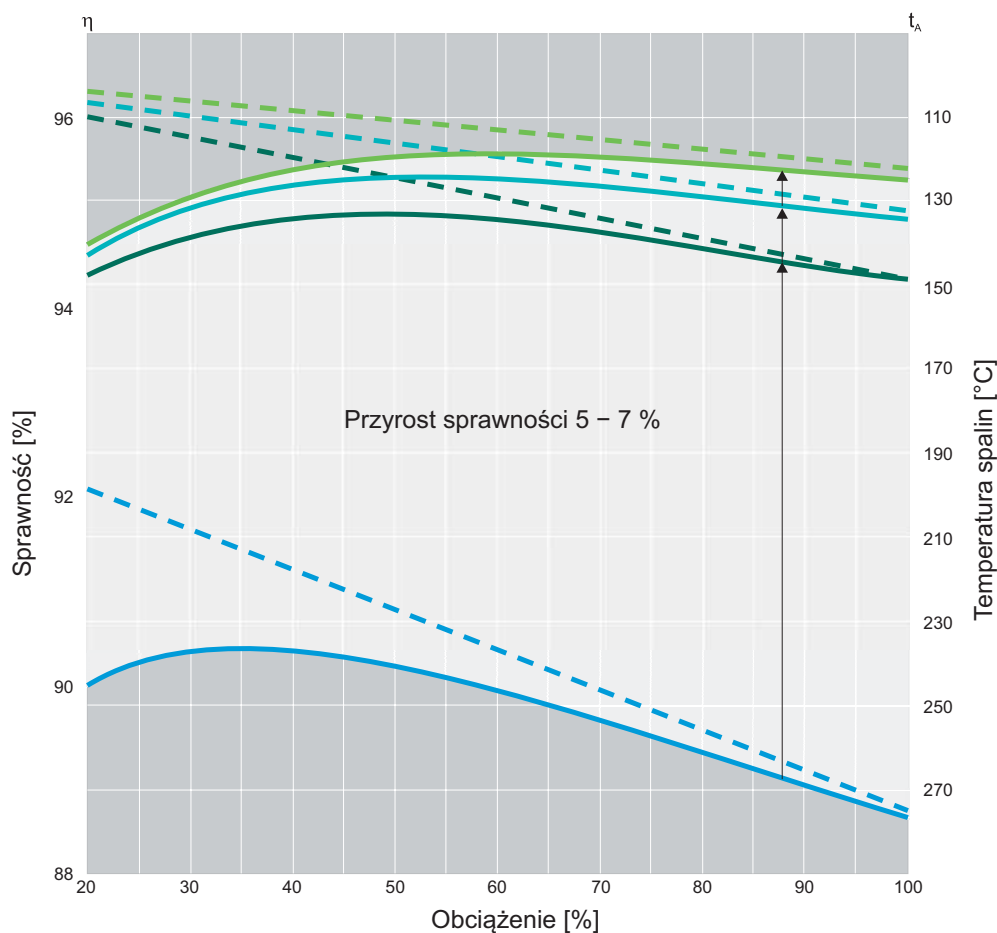
→ Ryc. 65, strona 151

Przy ciśnieniu roboczym 10 bar, odpowiadającemu temperaturze pary nasyconej 185 °C, spaliny mają temperaturę ok. 245 °C, co odpowiada mniej więcej 11 % stracie kominowej. Jak widać z grafiki (ryc. 143, strona 262), obniżenie temperatury spalin o 20 °C powoduje zmniejszenie straty kominowej o 1 punkt procentowy, co z kolei oznacza odpowiednie podwyższenie sprawności kotła.




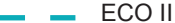



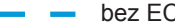
Wykorzystując ekonomizer, czy to zintegrowany z kotłem, czy instalowany oddzielnie, można schłodzić spaliny do temperatury 120 – 140 °C, w zależności od wydajności ekonomizera, a przez to znacznie zmniejszyć stratę kominową. W ekonomizerze spaliny oddają swe ciepło na podgrzewanie wody zasilającej kocioł. Tym samym sprawność kotła podwyższa się o 5 – 7 %.



Ryc. 142 Uproszczony schemat kotła parowego ze zintegrowanym ekonomizerem



Ryc. 143 Przyrost sprawności dla ekonomizerów różnych wielkości (rosnąco od I do III)

$\eta$	 ECO III	$t_{spalin}$	 ECO III
	 ECO II		 ECO II
	 ECO I		 ECO I
	 bez ECO		 bez ECO

Najlepsze efekty uzyskują ekonomizery nieregulowane, ponieważ na obciążeniu częściowym ich powierzchnie wymiany ciepła są optymalnie wykorzystywane do schładzania spalin.

Technika – Rozdział 3.3: Ekonomizer, strona 150

Jeśli jednak musi być zachowana określona minimalna dopuszczalna temperatura spalin w kominie, można także indywidualnie dobrać ekonomizer dla różnych temperatur spalin na wlocie i wylocie.

Aby uzyskać maksymalną rentowność tej technologii przez jak największe obniżenie temperatury spalin z jednej strony i utrzymać minimalną dopuszczalną temperaturę spalin w kominie z drugiej strony, niezbędne jest wyposażenie kotła w ciągłą regulację wody zasilającej i regulację z zastosowaniem przewodu obejściowego po stronie wodnej. Zintegrowane ekonomizery należą już dzisiaj do standardowego zakresu wyposażenia kotłów parowych prawie we wszystkich obszarach zastosowania. Inwestycja najczęściej amortyzuje się już w ciągu kilku miesięcy.



## 2.1.2 Ekonomizer kondensacyjny

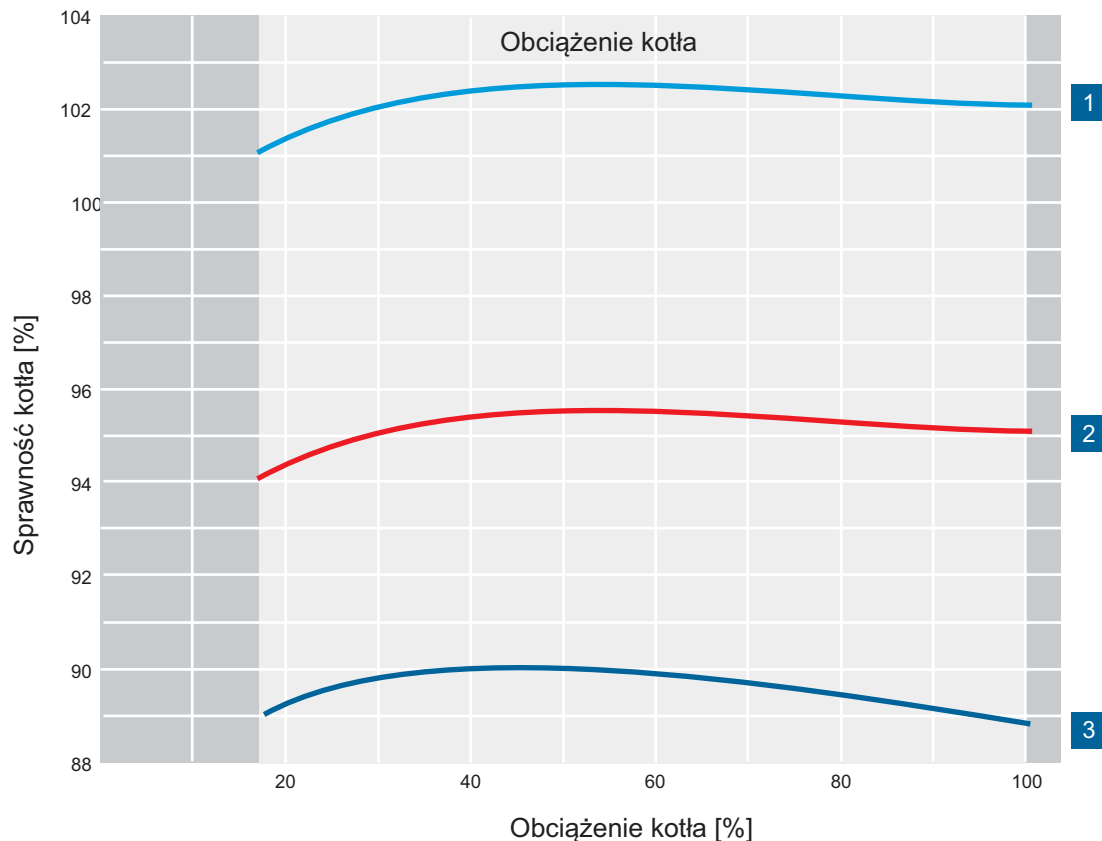
W technice wykorzystania ciepła kondensacji ze spalin odbierane jest nie tylko ciepło jawne ściśle powiązane z temperaturą, ale również częściowo ciepło utajone zmagazynowane w spalinach w wyniku odparowania wody. Produktem tego procesu jest kondensat ze spalin, który musi być usunięty z kanałów spalinowych, zneutralizowany i odprowadzony do kanalizacji.

Odporne na agresywne działanie kondensatu materiały stosowane w wymiennikach ciepła, niewrażliwe na wilgoć systemy odprowadzania spalin i kominy ze stali kwasoodpornej umożliwiają stosowanie techniki kondensacji przez długi czas bez skutków w postaci korozji.

W sprzyjających warunkach możliwe jest uzyskanie podwyższenia sprawności kotła do 7 %. Ekonomizer kondensacyjny zawsze instaluje się za wylotem spalin z ekonomizera suchego.

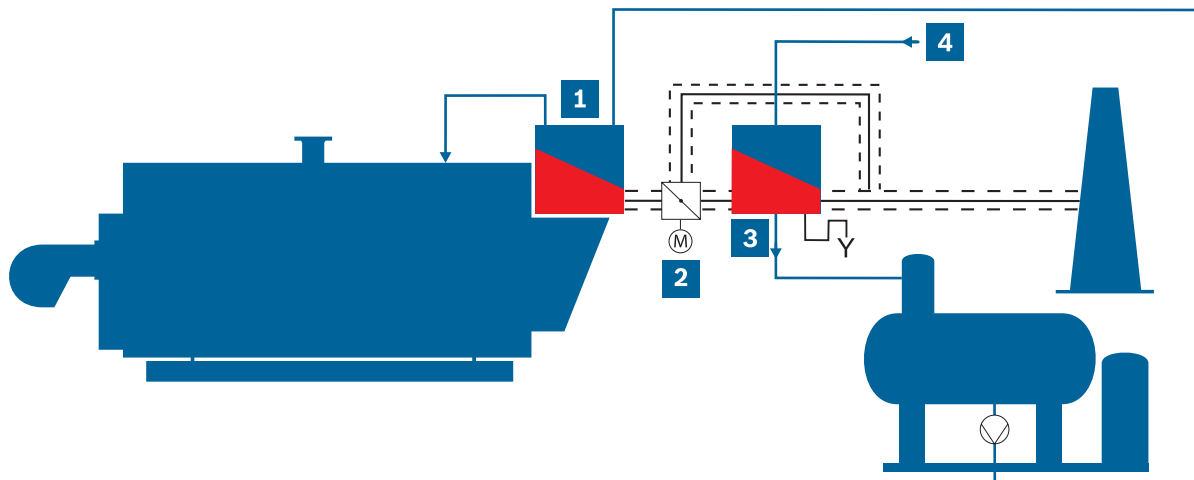
Ryc. 144, strona 265

Poniższy wykres przedstawia przykład sprawności kotła w funkcji obciążenia kotła.



Ryc. 144 Krzywa sprawności kotła w funkcji obciążenia dla kotła bez ekonomizera, kotła z ekonomizerem oraz kotła z ekonomizerem i dodatkowym kondensacyjnym wymiennikiem ciepła.

- 1** Kocioł parowy z ekonomizerem i zainstalowanym w przeciwnym kierunku kondensacyjnym wymiennikiem ciepła
- 2** Kocioł parowy z ekonomizerem
- 3** Kocioł parowy bez ekonomizera



Ryc. 145 Uproszczony schemat kotła parowego z podłączonym następnie ekonomizerem kondensacyjnym

- 1** Zintegrowany ekonomizer (stal)
- 2** Kłapa obejścia spalin
- 3** Ekonomizer kondensacyjny (stal nierdzewna)
- 4** Woda uzupełniająca

Aby ekonomizer kondensacyjny pracował ekonomicznie potrzebuje dostatecznie dużego (> 30 % wydajności kotła) i chłodnego (o temperaturze < 35 °C) strumienia wody, który będzie odbierał ciepło oddawane przez spaliny w ekonomizerze. Woda ta musi być dostępna podczas eksploatacji kotła.

→ Ryc. 145, strona 266

W kotłowniach parowych może być to woda uzupełniająca doprowadzana do zbiornika wody zasilającej.

Warunek ten dotyczy w szczególności tych instalacji, w których para jest używana bezpośrednio do ogrzewania, wobec czego kondensat nie jest w nich odzyskiwany bądź jest odzyskiwany tylko w niewielkim stopniu (< 50 % wytwarzanej pary), jak ma to miejsce np. w produkcji styropianu czy pieczywa oraz gdy para służy do nawilżania powietrza lub suszenia. Dodatkowo trzeba stale uzupełniać ubytki wody traconej z odsolinami, odmulinami, w wyniku parowania wtórnego i wycieków w systemie pary.

Wielkość tych strat jest indywidualną cechą każdej instalacji i może być bardzo różna. Mogą one znacząco przekraczać połowę wytwarzanej pary i muszą być również uzupełniane wodą uzupełniająca. Woda uzupełniająca po uzdatnieniu ma zwykle temperaturę maksymalnie 15 °C i doskonale nadaje się do podgrzewania w kondensacyjnym wymienniku ciepła.

Odpowiednio niska temperatura wody na wlocie do ekonomizera umożliwia intensywną kondensację spalin, a co za tym idzie optymalne wykorzystanie ciepła kondensacji. Przy takiej konfiguracji systemu w normalnym trybie pracy kotła wspólnie występuje ciepło odpadowe (spaliny) i zapotrzebowania na ciepło (woda uzupełniająca), więc korzyści energetyczne są zawsze osiągalne.

W instalacjach z dużą ilością zawracanego kondensatu występuje mały strumień objętościowy wody uzupełniającej, więc ekonomizer kondensacyjny nie zawsze jest opłacalny.



Jeżeli jednak instalacja posiada odpowiednie obiegi niskotemperaturowe, można pomimo tego korzystać z techniki kondensacyjnej. Uzyskane ciepło kondensacji może być wykorzystane na przykład do podgrzewania wody technologicznej, przede wszystkim w przemyśle spożywczym lub jako wspomaganie ogrzewania.

W przeciwieństwie do systemów grzewczych w budynkach, które mają jasno zdefiniowane temperatury zasilania i powrotu, w przemyśle działa wiele rozmaitych systemów wykorzystania pary i systemów grzewczych. Wobec tego najprzeróżniejsze rozwiązania w zakresie oszczędności energii i odzysku ciepła mogą być rozważane.

Gruntowna analiza wszystkich źródeł ciepła odpadowego i odbiorników ciepła jest nieodzowna dla znalezienia opcji najbardziej opłacalnej. Optymalne wykorzystanie techniki kondensacyjnej wymaga ścisłego współdziałania pomiędzy użytkownikiem, projektantem i producentem kotła, by z całego mnóstwa możliwości móc wybrać tę najefektywniejszą.

Jeżeli w instalacji nie występuje odbiornik mogący odpowiednio wykorzystać ciepło kondensacji spalin, można zastosować podgrzewanie powietrza do podwyższenia efektywności co zostało opisane w kolejnym rozdziale.

### 2.1.3 Podgrzewacz powietrza

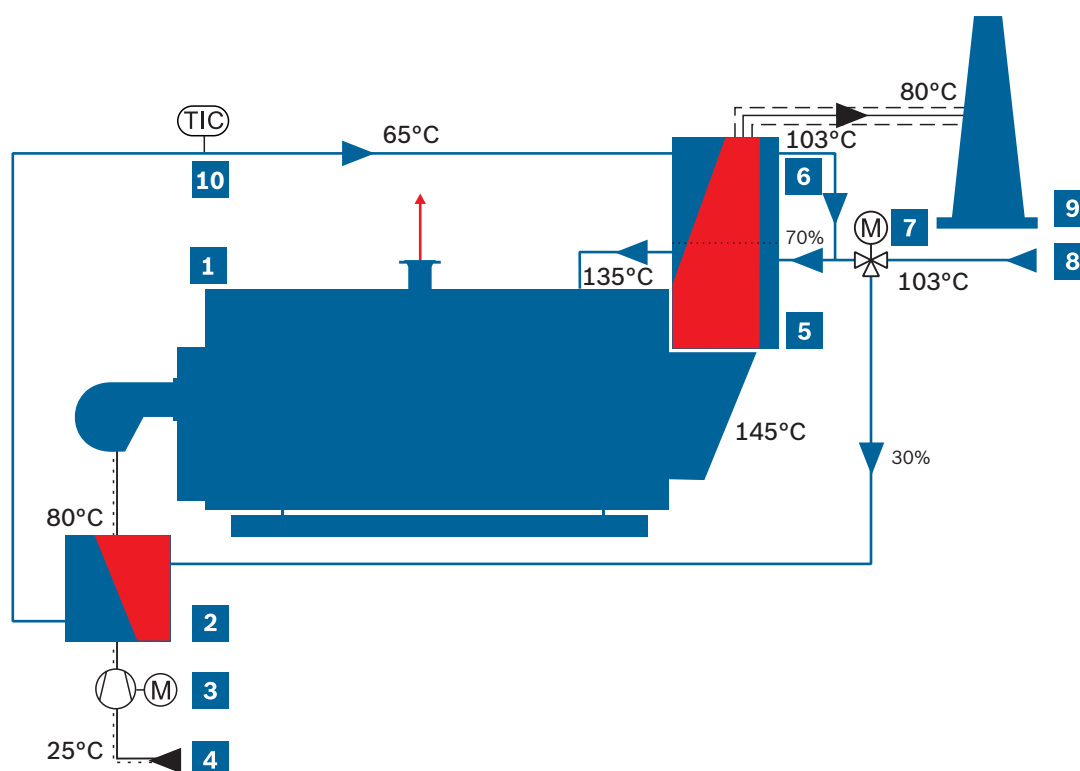


Ryc. 146 Podgrzewacz powietrza

Nowobudowane kotły z ekonomizerem mogą zostać wyposażone w podgrzewacz powietrza służący podwyższeniu ich sprawności.

Powietrze jest podgrzewane od początkowej temperatury otoczenia do temperatury około 80 °C w wymienniku ciepła zabudowanym przed palnikiem. Woda zasilająca schłodzona do temperatury około 65 °C przepływa przez drugi pęczek wymiennika schładzając spaliny do temperatury około 80 °C.

Bosch oferuje podgrzewacze powietrza dla kotłów jedno- i dwupalnicowych z palnikami duoblokowymi. Ponieważ zarówno palnik musi mieć specjalną konstrukcję jak i instalacja podgrzewacza powietrza do spalania, dodatkowego ekonomizera i orurowania wymaga większych nakładów, podgrzewacze powietrza są bardzo interesującym rozwiązaniem z ekonomicznej perspektywy dla kotłów pracujących najczęściej na pełnym obciążeniu (ok. 4000 h/rok) lub kotłów o wydajności > 5 t/h). Okres amortyzacji inwestycji w podgrzewacz powietrza często liczy zaledwie 1,5 – 2 lata. Instalacja podgrzewacza powietrza w ramach modernizacji starszego kotła jest opłacalna od około 6000 godzin pracy rocznie.



Ryc. 147 Podgrzewanie powietrza do spalania dla kotła parowego według patentu Bosch

- |                                                     |                                            |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>1</b> Kocioł parowy                              | <b>6</b> Wymiennik ciepła spalin stopień 2 |
| <b>2</b> Wymiennik ciepła do podgrzewania powietrza | <b>7</b> Zawór 3-drogowy                   |
| <b>3</b> Wentylator palnika                         | <b>8</b> Woda zasilająca                   |
| <b>4</b> Powietrze do spalania                      | <b>9</b> Komin                             |
| <b>5</b> Wymiennik ciepła spalin stopień 1          | <b>10</b> Regulator temperatury (TIC)      |

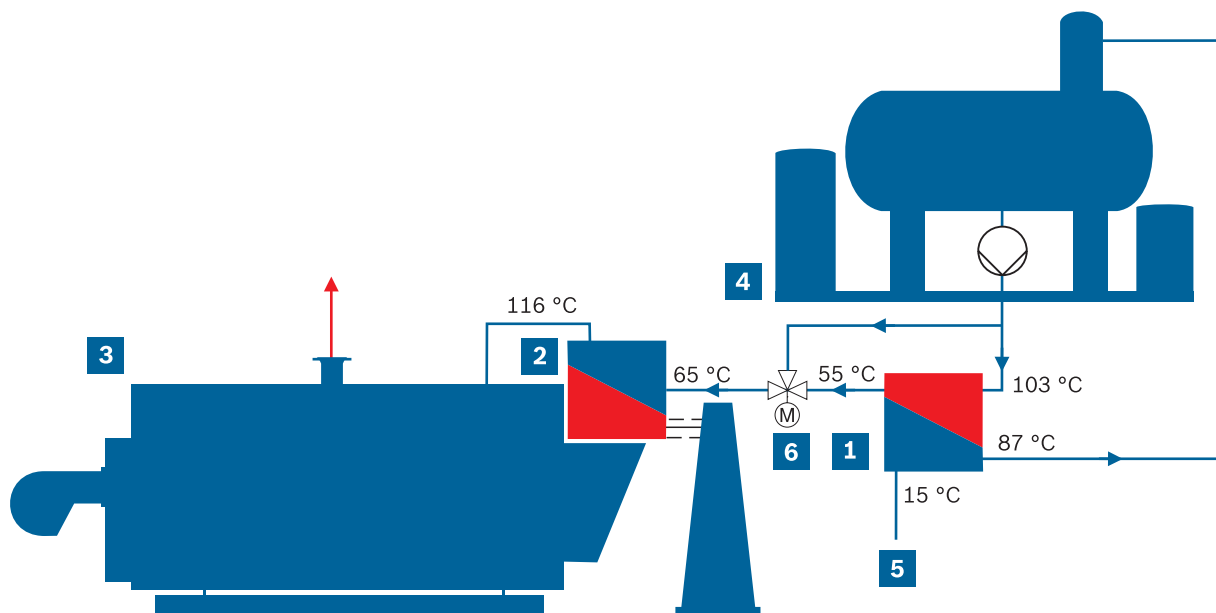


### 2.1.4 Chłodnica wody zasilającej



Ryc. 148 Moduł chłodnicy wody zasilającej

Czynnikiem mającym decydujące znaczenie dla sprawności paleniska kotła parowego niewykorzystującego techniki kondensacji jest temperatura spalin. Jednakże woda zasilająca używana do chłodzenia spalin w ekonomizerze ma w instalacjach z odgazowaniem termicznym temperaturę nie niższą niż 103 °C. Temperatura spalin może być więc schłodzona w ekonomizerze tylko do około 120 °C.



Ryc. 149 Moduł chłodnicy wody zasilającej

- 1** Moduł chłodnicy wody zasilającej
- 2** Ekonomizer
- 3** Kocioł parowy

- 4** Moduł przygotowania wody
- 5** Woda uzupełniająca
- 6** Zawór 3-drogowy



Jeśli jednak w instalacji występują odbiorniki ciepła o temperaturze nie przekraczającej 100 °C, jak np. ogrzewanie wody uzupełniającej w instalacji parowej, ogrzewanie budynku czy podgrzewanie wody technologicznej, można przy użyciu prostego, niedrogiego płytowego wymiennika ciepła i obniżyć temperaturę wody zasilającej z początkowych 103 °C do 65 °C. Bez dodatkowej inwestycji w ekonomizer dzięki uzyskanej w ten sposób większej różnicy między temperaturą spalin i temperaturą wody zasilającej można również schłodzić spalinę do około 85 °C. Poprzez podwyższenie sprawności paleniska w ten sposób można zaoszczędzić do 1,8 % paliwa.

Ten sposób podwyższenia efektywności można także zrealizować w ramach modernizacji starszych kotłów przy relatywnie niewielkich kosztach inwestycyjnych.

### 2.1.5 Podsumowanie

Zmniejszenie straty kominowej jest priorytetowym zadaniem w projektowaniu i eksploatacji kotłowni parowej. Często pojawia się pytanie:

#### Które metody odzysku ciepła, czy może ich kombinacje, dają najlepsze efekty?

Poniższy wykres przedstawia metody zmniejszania straty kominowej, które zostały opisane w poprzednich rozdziałach, na przykładzie kotłowni parowej.

Najodpowiedniejsza technologia optymalizacji eksploatacji kotłowni parowej jest specyficzna dla każdego indywidualnego przypadku. W szczególności czynnikiem o elementarnym znaczeniu dla wyboru sposobu podwyższenia sprawności jest „wielkość” i temperatura niskotemperaturowego odbioru energii cieplnej.

#### Przykład:

Strumień kondensatu	$c = \dot{m}_{\text{kond}} / \dot{m}_{\text{para}}$
Strumień wody uzupełniającej	$wu = 1 - c$
UL-S	10 000 x 16
Wydajność	10 000 kg/h przy $p_{\text{sr}} = 13 \text{ bar}$
Strumień odsolin	5 %

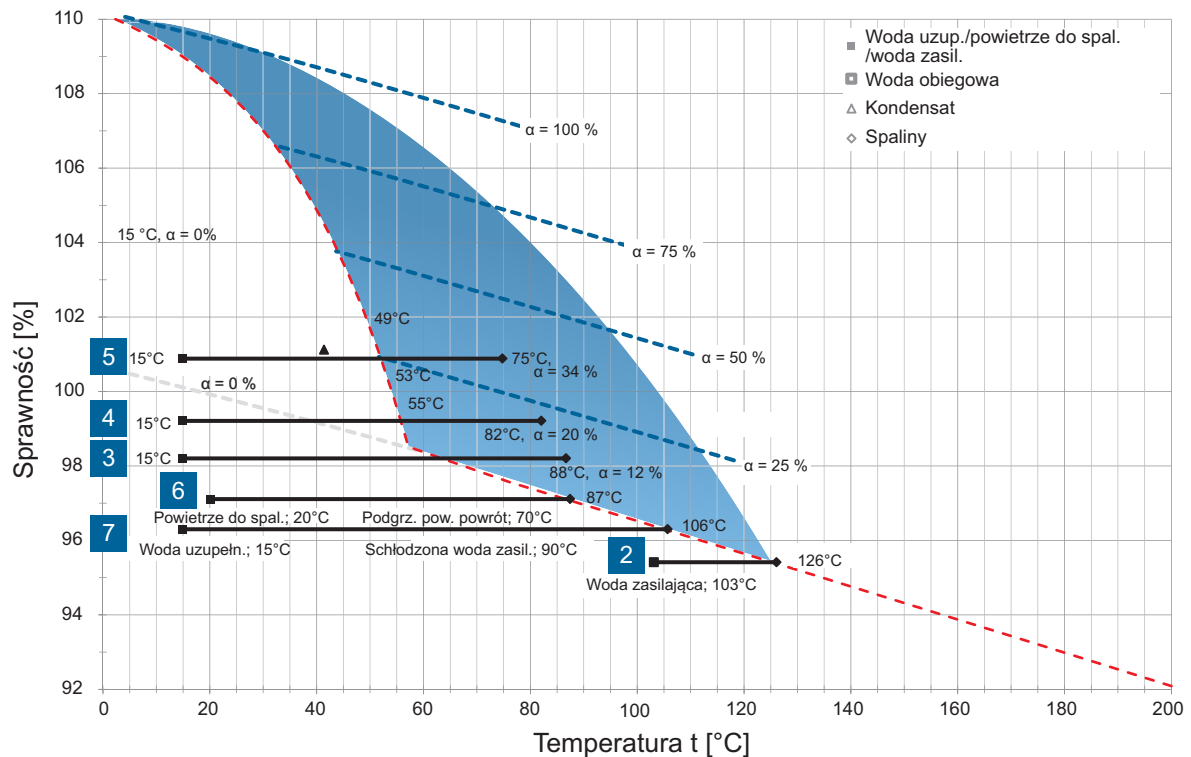
Przypadek	Komponenty	Sprawność	
		komponentów	ogółem
1	Kocioł	88,9 %	---
2	Kocioł + ekonomizer	88,9 % + 6,5 %	95,4 %
3	Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $wu = 0,3 / \alpha = 12 \%$ )	88,9 % + 6,5 % + 2,8 %	98,2 %
4	Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $wu = 0,5 / \alpha = 20 \%$ )	88,9 % + 6,5 % + 3,8 %	99,2 %
5	Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $wu = 1 / \alpha = 34 \%$ )	88,9 % + 6,5 % + 7,6 %	100,9 %
6	Kocioł + ekonomizer + podgrzewacz powietrza (20 °C do 65 °C)	88,9 % + 6,5 % + 1,7 %	97,1 %
7	Kocioł + ekonomizer + chłodnica wody zasilającej ( $wu = 0,3$ )	88,9 % + 6,5 % + 0,6 %	96,0 %

Tab. 27 Przykłady łączenia różnych metod odzysku ciepła dla zmaksymalizowania efektów



Odbiornikami ciepła wykorzystywanymi dla kondensacyjnych wymienników są z reguły woda uzupełniająca do produkcji pary, wspomaganie ogrzewania lub podgrzewanie wody technologicznej. To samo dotyczy chłodnicy wody zasilającej, która zwłaszcza wtedy jest wyjątkową korzystną alternatywą dla ekonomizera kondensacyjnego, gdy ogrzewany strumień wody jest względnie mały lub ciepło, jak ma to miejsce w przypadku ciepła do celów grzewczych, nie może być używane przez cały rok.

Jeżeli nie występuje odbiór ciepła lub występuje tylko odbiór ciepła mocno zmienny w czasie, wskazane będzie raczej zastosowanie podgrzewacza powietrza.



Ryc. 150 Wykres sprawności kotła parowego z wykorzystaniem poszczególnych metod podwyższenia sprawności

- 1 Kocioł (nie przedstawiony na wykresie)
- 2 Kocioł + ekonomizer
- 3 Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $w_u = 0,3 / \alpha = 12 \%$ )
- 4 Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $w_u = 0,5 / \alpha = 20 \%$ )
- 5 Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $w_u = 1 / \alpha = 34 \%$ )
- 6 Kocioł + ekonomizer + podgrzewacz powietrza (20 °C do 65 °C)
- 7 Kocioł + ekonomizer + chłodnica wody zasilającej ( $w_u = 0,3$ )

## 2.2 Podwyższenie efektywności palnika

### 2.2.1 Wentylator powietrza do spalania

Do całkowitego i zupełnego spalania konieczna jest mieszanka paliwowo-powietrzna o optymalnym składzie.

Przemysłowe instalacje kotłowe często pracują na obciążeniu częściowym. Wówczas zmniejszone jest zarówno dostarczanie paliwa jak i powietrza.

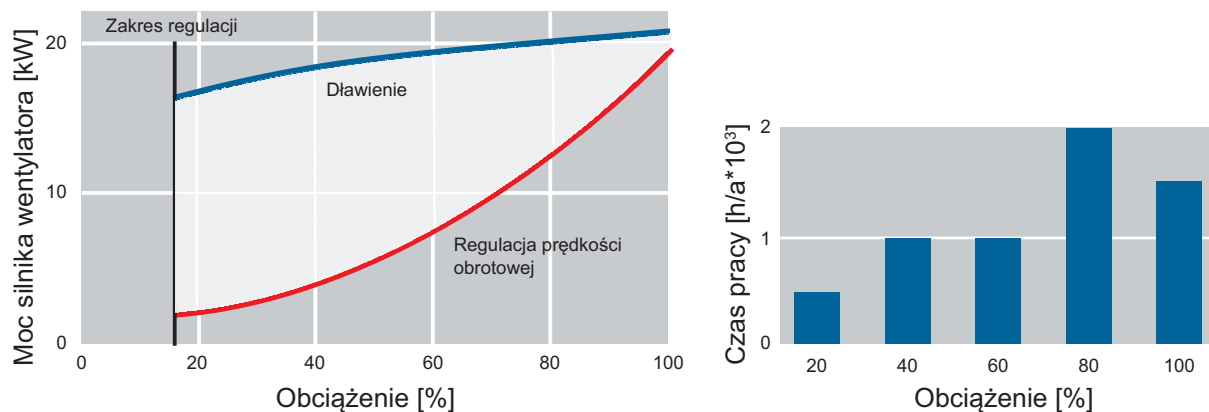
Wentylator palnika bez płynnie regulowanej prędkości obrotowej pracuje na pełnych obrotach również wtedy, gdy kocioł pracuje tylko na obciążeniu częściowym, ponieważ w takim wypadku ilość powietrza doprowadzane do spalania jest ograniczana poprzez przemykanie klap powietrza. Wentylator pobiera wówczas dużo energii elektrycznej, która jest bezużytecznie marnowana na oporach dławienia. Gdy strumień powietrza można regulować poprzez modulację prędkości obrotowej wentylatora pobór prądu w fazach częściowego obciążenia jest daleko mniejszy.

Analogicznie do redukcji zużycia energii elektrycznej zmniejszeniu ulega hałas generowany przez wentylator. Wszystkie instalacje, które często przez dłuższy okres czasu pracują na obciążeniach częściowych, powinny być wyposażone w wentylatory o regulowanej prędkości obrotowej.

Przy średnim obciążeniu palnika w ten sposób można zaoszczędzić około 40 % energii elektrycznej. Z reguły są to czterocyfrowe kwoty oszczędności rocznie, wobec czego zakup palnika z wentylatorem z regulowaną prędkością obrotową najczęściej amortyzuje się w ciągu jednego roku.

#### Przykład:

Wydajność kotła	10 t/h
Wentylator palnika	22 kW
Zmniejszenie zużycia prądu	ok. 48 000 kWh/a (42 %)
Oszczędność	ok. 6720 €/a (przy cenie prądu 0,14 €/kWh)



Ryc. 151 Oszczędność energii dzięki wentylatorowi palnika z regulowaną prędkością obrotową

### 2.2.2 Nadmiar powietrza

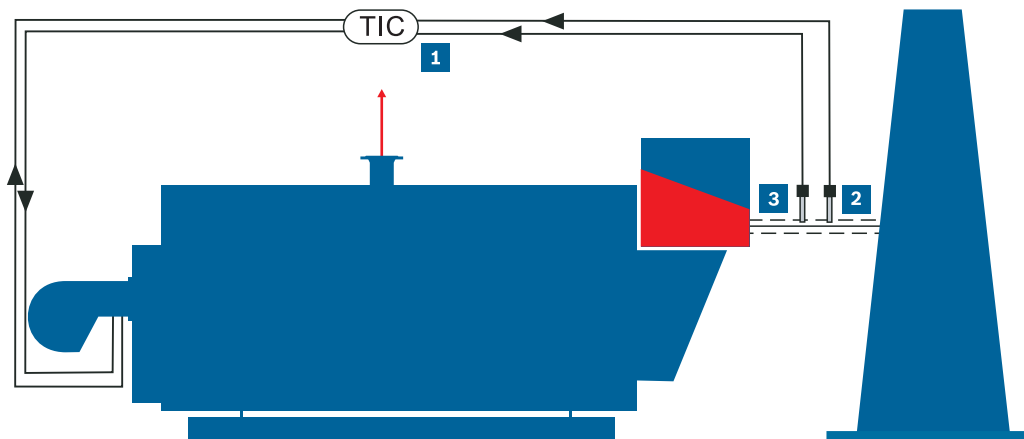
Idealnym technicznie spalaniem jest spalanie stechiometryczne. Ma miejsce, gdy każda cząstka spalanego paliwa wejdzie w reakcję z cząstkami tlenu. Występuje wtedy, gdy nie pozostają niedopalone składniki paliwa lub tlen.

Gdy proces spalania odbywa się przy niedostatecznym dostępie tlenu z powietrza do spalanego paliwa, może zachodzić jedynie spalanie niecałkowite. Negatywnym następstwem byłoby powstanie tlenku węgla, gazu silnie trującego. Gdy z kolei tlenu zawartego w powietrzu dostarczonym do spalania jest za dużo i wszystkie cząstki paliwa uległy już utlenieniu, to pozostałe, wolne cząstki tlenu tworzą nadmiarową objętość powietrza.



Do spalania dostarcza się zwykle chłodne powietrze z otoczenia w zbyt dużych ilościach, więc część uzyskanego ciepła ze spalania jest tracona na ogrzanie tej dodatkowej objętości powietrza, która następnie wraz ze spalinami ulatuje kominem.

Ustawienie optymalnej ilości powietrza dostarczanego do spalania jest zatem ważne dla efektywności i bezpiecznej, niskoemisyjnej pracy kotła. Z uwagi na ciśnienie, temperaturę i zmienną wilgotność powietrza z jednej strony i wahania jakości paliw z uwagi na dość liberalny rynek gazowy z drugiej strony pewien nadmiar powietrza w porównaniu z teoretycznym stanem idealnym musi być dla bezpieczeństwa ustawiony. Powstawanie trującego i wybuchowego tlenku węgla musi być absolutnie wykluczone. Ustawienia przeprowadza się w normalnym wypadku podczas uruchomienia instalacji kotłowej i kontroluje się je w ramach kwartalnych lub półrocznych konserwacji.

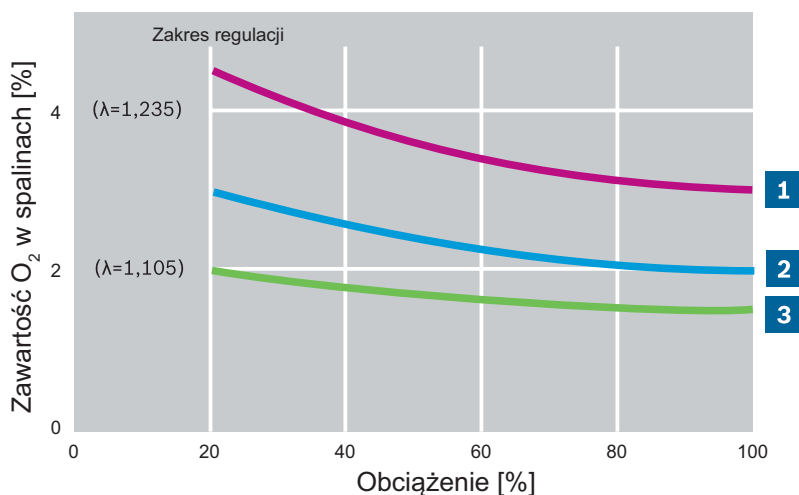


**Ryc. 152** Regulacja poziomu zawartości  $O_2$  i CO w spalinach wylotowych kotła parowego (ilustracja przedstawia instalację w dużym uproszczeniu)

- |                              |               |
|------------------------------|---------------|
| <b>1</b> Regulacja           | — Para        |
| <b>2</b> Sonda pomiaru $O_2$ | ----- Spaliny |
| <b>3</b> Sonda pomiaru CO    |               |

Dla działania kotła bliżej optymalnego punktu pracy również w zmiennych warunkach niezbędne jest zastosowanie przyrządów do ciągłego pomiaru i regulacji. Układ regulacji  $O_2$  składa się z sondy do pomiaru poziomu zawartości tlenu w spalinach, zainstalowanej w strumieniu spalin i regulatora. Sonda mierzy w sposób ciągły poziom zawartości tlenu resztkowego w spalinach i wysyła sygnał do sterowania palnika, który odpowiednio ustawia potrzebną ilość powietrza do spalania.

Od kilku lat używa się elektrod kombinowanych do pomiaru poziomu zawartości  $O_2$  i CO. Elektroda mierzy poziom zawartości CO i przesyła informację do sterownika, który na tej podstawie określa współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda$ . Stosując regulację współczynnika nadmiaru powietrza sondą  $O_2$  i CO można zwykle zredukować ustawiony współczynnik nadmiaru powietrza z 3 – 4 % obj. tlenu w spalinach do 0,5 – 1,0 % obj. tlenu. Przy jednakowej temperaturze spalin odpowiada to zmniejszeniu straty kominowej o około 1 punkt procentowy. Regulacja procesu spalania sondą  $O_2$  i CO nie może być stosowana w instalacjach z kotłami opalnymi olejem.



Ryc. 153 Poziom zawartości tlenu w spalinach i współczynnik nadmiaru powietrza przy regulacji sondą O<sub>2</sub> i CO w funkcji obciążenia palnika

- 1** Bez regulacji
- 2** Z regulacją O<sub>2</sub>
- 3** Z regulacją CO

### 2.2.3 Dopasowanie mocy

Starsze, ale też nowo projektowane kotłownie, często są znacznie przewymiarowane w stosunku do rzeczywistego zapotrzebowania na parę.

Typowymi przyczynami tego stanu rzeczy są:

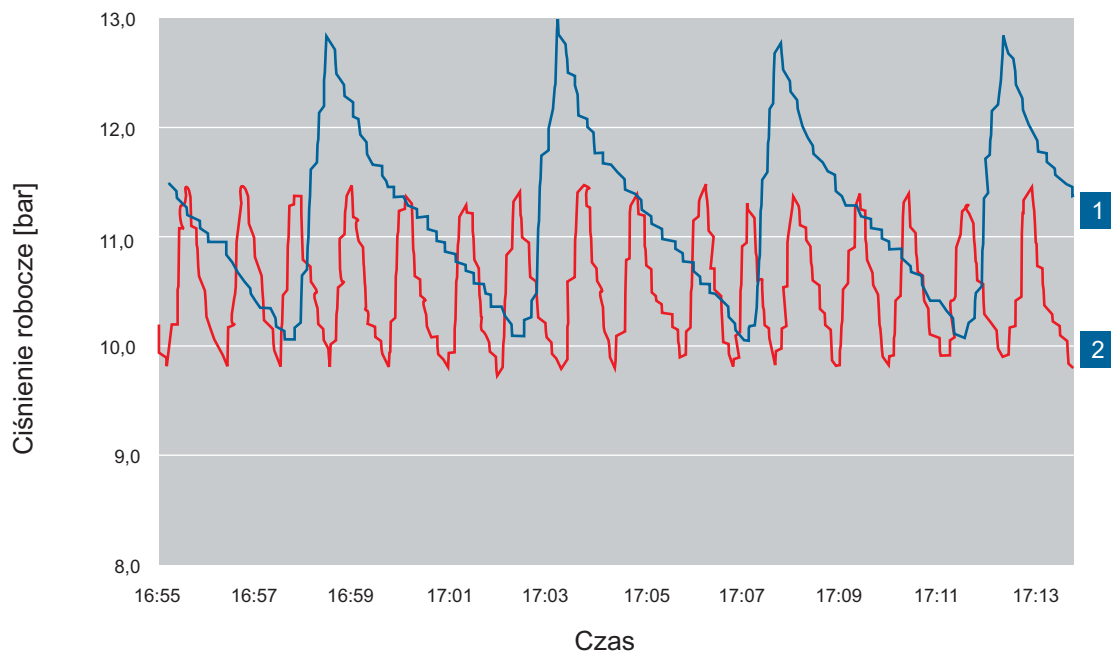
- **zmniejszenie się zapotrzebowania na parę w istniejącej instalacji**, np. w wyniku wycofania niektórych odbiorników pary albo wyposażenie kotłowni w urządzenia do odzysku ciepła w ramach modernizacji;
- **przewymiarowanie nowo projektowanej kotłowni**, np. w rezultacie nieprawidłowego obliczenia jednoczesnego zużycia pary przez odbiorniki, zawyżenia zakładanych rezerw mocy albo przedwczesnego uwzględnienia jeszcze niezrealizowanych planów dołączenia nowych odbiorników ciepła.

Następstwem przewymiarowania kotłowni jest zbyt mały odbiór pary w stosunku do mocy kotła, co skutkuje bardzo częstym włączaniem i wyłączaniem palników. Każdy zapłon palnika wymusza przewietrzanie kotła, co pociąga za sobą straty a także wywołuje naprężenia termiczne, które mogą być znaczne przy dłuższych czasach przewietrzania.

→ Efektywność – Rozdział 2.2.4: Przewietrzanie przed zapłonem palnika, strona 275

Podjmując odpowiednie działania można zminimalizować efekty związane ze zbyt dużą mocą kotła. Są to:

- zastosowanie trybu sterowania przy małym obciążeniu, które będzie opóźniać w czasie natychmiastowy wzrost mocy po włączeniu palnika;
- zastosowanie regulatorów mocy, które umożliwią utrzymanie palnika przez nieograniczony czas na małym obciążeniu;
- zainstalowanie palników o szerokim zakresie regulacji;
- dopasowanie mocy palnika do rzeczywistych wymagań. To wymaga jednak odpowiedniej modyfikacji palnika lub zamontowania palnika o mniejszym zakresie mocy.



Ryc. 154 Przebieg ciśnienia przed i po korekcie mocy palnika

- 1** Przebieg ciśnienia przed korektą mocy palnika
- 2** Przebieg ciśnienia po korekcie mocy palnika

### 2.2.4 Przewietrzanie przed zapłonem palnika

Przed każdym zapłonem palnika następuje przewietrzanie kotła dla zapewnienia, że w kanałach spalinowych nie są obecne palne mieszanki gazów. Zanim nastąpi zapłon palnika, uruchamia się wentylator palnika i tłoczy zimne powietrze z otoczenia przez kanały spalinowe wciąż rozgrzane do temperatury wrzenia spalin. Zimne powietrze ogrzewa się w kotle, odbierając część zmagazynowanego w nim ciepła. Komora spalania musi być dobrze przewietrzona świeżym powietrzem, co przy częstych zapłonach palnika pociąga za sobą niemałe straty energii.

Czas przewietrzania należy z reguły obliczyć na 2-3-krotną wymianę powietrza w całym systemie odprowadzania spalin. Obliczenia należy dokonać w porozumieniu z organami dozoru technicznego. Oprócz dodatkowych kosztów eksploatacji częste włączenia i wyłączenia palnika skutkują także szybszym zużyciem jego podzespołów. Idealnie byłoby uzyskać 1-2 cykle włączenia/wyłączenia palnika na godzinę. Jeśli cykli jest więcej niż 4 na godzinę, należy podjąć działania mające na celu zmniejszenie ich liczby, np. precyzyjnie wyregulować moc palnika.

→ Efektywność – Rozdział 2.2.3: Dopasowanie mocy, strona 274

$$Q_{\text{str.przewietrz}} = 1,26 \cdot Q_{\text{palenisko}} \cdot \Delta T \cdot t \cdot 10^7$$



**Wzór 34** Równanie do obliczenia przybliżonych strat w wyniku przewietrzania przed zapłonem palnika

- $Q_{\text{str.przewietrz}}$  Strata w wyniku przewietrzania przed zapłonem palnika [kWh]
- $Q_{\text{palenisko}}$  Moc paleniska [kW]
- $\Delta T$  Różnica temperatur między temperaturą czynnika w kotle i temperaturą zasysanego świeżego powietrza [K]
- $t$  Suma czasów otwarcia/zamknięcia siłownika i czasu przewietrzania

$$\dot{Q}_{\text{palenisko}} \approx \dot{m}_{\text{para}} \cdot \frac{0,65}{\eta}$$



**Wzór 35** Równanie do obliczenia przybliżonej mocy paleniska kotła

- $Q_{\text{palenisko}}$  Moc paleniska [kW]
- $\dot{m}_{\text{para}}$  Wydajność produkcji pary [kg/h]
- $\eta$  Sprawność kotła z ekonomizerem [%]

$$\Delta T = T_K - T_{\text{pow}} = T_{\text{wrz}} (p_{\text{sr}}=13 \text{ bar}) - T_{\text{pow}}$$



**Wzór 36** Równanie do obliczenia różnicy temperatur między czynnikiem w kotle i zasysanym świeżym powietrzem

- $\Delta T$  Różnica temperatur między czynnikiem w kotle i zasysanym świeżym powietrzem [K]
- $T_K$  Temperatura czynnika w kotle [K]
- $T_{\text{pow}}$  Temperatura zasysanego świeżego powietrza [K]
- $T_{\text{wrz}}$  Temperatura wrzenia czynnika w kotle przy określonym ciśnieniu  $p_{\text{sr}}$  [K]

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_{\text{przew}}$$



**Wzór 37** Równanie na obliczenie sumy czasów otwarcia/zamknięcia siłownika i czasu przewietrzania

- $t$  Suma czasów otwarcia/zamknięcia siłownika i czasu przewietrzania [s]
- $t_1$  Czas otwarcia siłownika (ok. 30 – 60 s) [s]
- $t_2$  Czas zamknięcia siłownika (ok. 30 – 60 s) [s]
- $t_{\text{przew}}$  Czas przewietrzania (< 120 s) [s]

$$t = 30 \text{ [s]} + 30 \text{ [s]} + 70 \text{ [s]} = 130 \text{ [s]}$$



**Przykł. 14** Przykład obliczenia sumy czasów otwarcia/zamknięcia siłownika i czasu przewietrzania





$$\Delta T = 195 \text{ [}^\circ\text{C]} - 25 \text{ [}^\circ\text{C]} = 170 \text{ [K]}$$



**Przykł. 15** Przykład obliczenia różnicy temperatur między czynnikiem w kotle i zasysanym świeżym powietrzem

$$\dot{Q}_{\text{palenisko}} \approx 10000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot \frac{0,65}{97 \%} \approx 6700 \text{ [kW]}$$



**Przykł. 16** Przykład obliczenia przybliżonej mocy paleniska kotła

$$Q_{\text{str, przew}} = 1,26 \cdot 6700 \text{ [kW]} \cdot 170 \text{ [K]} \cdot 130 \text{ [s]} \cdot 10^{-7} = 18,7 \text{ [kWh]}$$



**Przykł. 17** Przykład obliczenia przybliżonych strat w wyniku przewietrzania

Przy średnio 4 cyklach rozruchowych palnika na godzinę i średnim obciążeniu kotła na poziomie 20 % strata ciepła sięgnie 6 % mocy cieplnej kotła.

Szacując dla czasu pracy kotła 4000 godzin rocznie strata ciepła ogółem wyniesie jakieś 300 MWh/a, co oznacza stratę rzędu 13 500 € rocznie.

$$18,7 \text{ [kWh]} \cdot 8000 \left[ \frac{\text{h}}{\text{a}} \right] \cdot 4,0 \left[ \frac{1}{\text{h}} \right] = 597 \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right]$$



**Przykł. 18** Przykład obliczenia przybliżonej rocznej straty w wyniku przewietrzania [MWh]

$$597 \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right] \cdot 45,0 \left[ \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] = 26\,865 \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right]$$



**Przykł. 19** Przykład obliczenia przybliżonej rocznej straty w wyniku przewietrzania [€]





## 3 Podwyższenie efektywności po stronie wody i kondensatu

### 3.1 Odsalanie i odmulanie

Woda zasilająca doprowadzana do kotłów parowych może, w zależności od zastosowanych metod uzdatniania, nadal zawierać szczątkowe ilości zanieczyszczeń w niej rozpuszczonych. Zanieczyszczenia te nie odparowują wraz z wodą w kotle, ale ulegają wytrąceniu powodując systematyczne zatężanie wody kotłowej. Nadmierne stężenie zanieczyszczeń w wodzie kotłowej ma szkodliwe działanie na kocioł i zaburza jego pracę.

→ Ryc. 89, strona 180

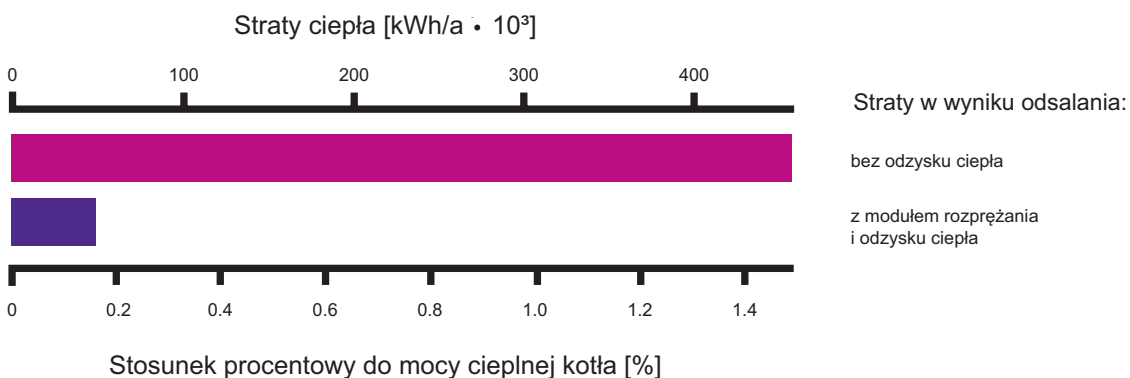
Dla zapewnienia prawidłowej pracy kotła konieczne jest więc ciągle usuwanie części strumienia wody zasilającej za pośrednictwem zaworów odsalania i odmulania. Przyjmuje się, że rata odsalania i odmulania  $\alpha$  powinna mieścić się w zakresie 3 – 5 % strumienia wody zasilającej.

Aby stale utrzymywać jakość wody zasilającej na poziomie akceptowalnym dla kotła i instalacji z jednoczesnym unikaniem zbyt wysokich strat związanych z ratą odsalania i odmulania, zawory odsalania i odmulania powinny być sterowane w sposób automatyczny.

Woda odprowadzana z kotła znajduje się w stanie wrzenia (np. przy ciśnieniu 13 bar ma temperaturę 195 °C), jeśli więc instalacja nie dysponuje urządzeniami do odzysku ciepła znaczne ilości energii cieplnej są bezpowrotnie tracone.

Stosując moduł rozprężania i odzysku można nawet do 90 % tej energii zawrócić do systemu, zyskując przy tym dodatkowo znaczną oszczędność wody do chłodzenia.

Przy średnim ciśnieniu roboczym 13 bar i 5 % strumieniu odsolin strata energii bez odzysku ciepła sięgnęłaby 1,4 % mocy cieplnej kotła. Odzysk ciepła pozwala w tym przypadku zaoszczędzić 400 000 kWh/a (przy założeniu, że jest to kocioł o wydajności 10 t/h, pracujący na pełnym obciążeniu przez 4200 godziny w roku).



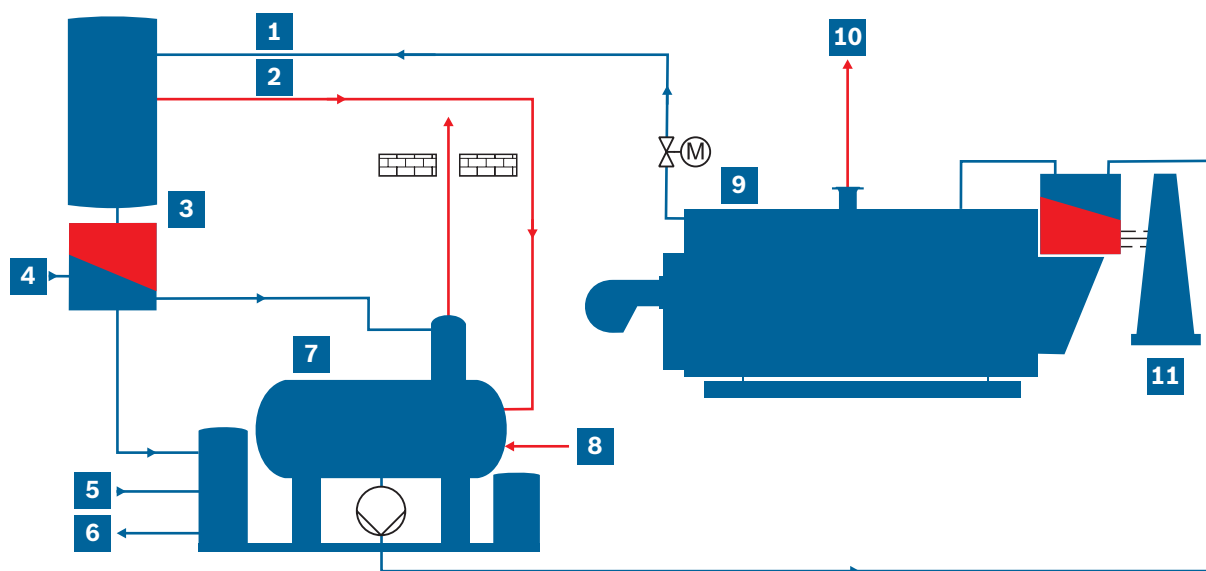
Ryc. 155 Potencjał oszczędności przy stosowaniu modułu rozprężania i odzysku ciepła (EHM lub EHB)

W module odzysku ciepła (EHM lub EHB) odsoliny gwałtownie rozprężają się do ciśnienia zbiornika wody zasilającej. Podczas rozprężania powstaje para wtórna, którą można następnie wykorzystać jako parę grzewczą zbiornika wody zasilającej. Pozostałe odsoliny schładzają się oddając ciepło w podłączonym za zbiornikiem rozprężacza płytowym wymienniku ciepła. W ten sposób ciepło zgromadzone w odsolinach zostaje użyte do podgrzania wody uzupełniającej oraz przyczynia się do oszczędności pary grzewczej w procesie odgazowania.

→ Produkty – Rozdział 4.6: Moduł rozprężania i odzysku ciepła EHM, strona 350

→ Produkty – Rozdział 4.7: Moduł rozprężania, odzysku ciepła i wody spustowej EHB, strona 351

Niestety moduł nie może odzyskiwać ciepła również z odmulin, ponieważ zawarte w nich substancje stałe stwarzałyby problemy z eksploatacją rozprężacza i wymiennika ciepła.



Ryc. 156 Schemat instalacji z rozprężaniem odsolin i odzyskiem ciepła

- |                                             |                                      |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>1</b> Odsoliny z kotła                   | <b>7</b> Zbiornik wody zasilającej   |
| <b>2</b> Para wtórna z rozprężania          | <b>8</b> Para do procesu odgazowania |
| <b>3</b> Moduł rozprężania i odzysku ciepła | <b>9</b> Kocioł parowy               |
| <b>4</b> Woda uzupełniająca                 | <b>10</b> Para                       |
| <b>5</b> Zimna woda                         | <b>11</b> Komin                      |
| <b>6</b> Spust do kanalizacji               |                                      |



**Ryc. 157** Moduł rozprężania i odzysku ciepła EHB

Moduł rozprężania i odzysku ciepła może być instalowany zarówno w nowobudowanych kotłowniach ze zintegrowanym rozprężaczem odmulin jak również w starszych instalacjach jako rozwiązanie do modernizacji istniejącego rozprężacza odmulin



## 3.2 Opary

Produktem procesów całkowitego odgazowania termicznego są opary, z którymi są odprowadzane z wody zasilającej szkodliwe dla pracy kotła gazy: tlen ( $O_2$ ) i dwutlenek węgla ( $CO_2$ ). W wielu kotłowniach wyrzut oparów widać w postaci kłębow pary unoszących się ponad dachem.

Zbiornik wody zasilającej zwykle jest utrzymywany pod ciśnieniem przez cały rok, co ma zapobiegać wnikaniu tlenu do zbiornika i wywołanej przez tlen korozji. Przez cały ten czas powstają więc także opary. Opary powstają również wtedy, gdy kocioł nie znajduje się akurat w ruchu.

Straty ciepła traconego z oparami można zredukować na dwa sposoby:

- **sterowany zawór upustu oparów**

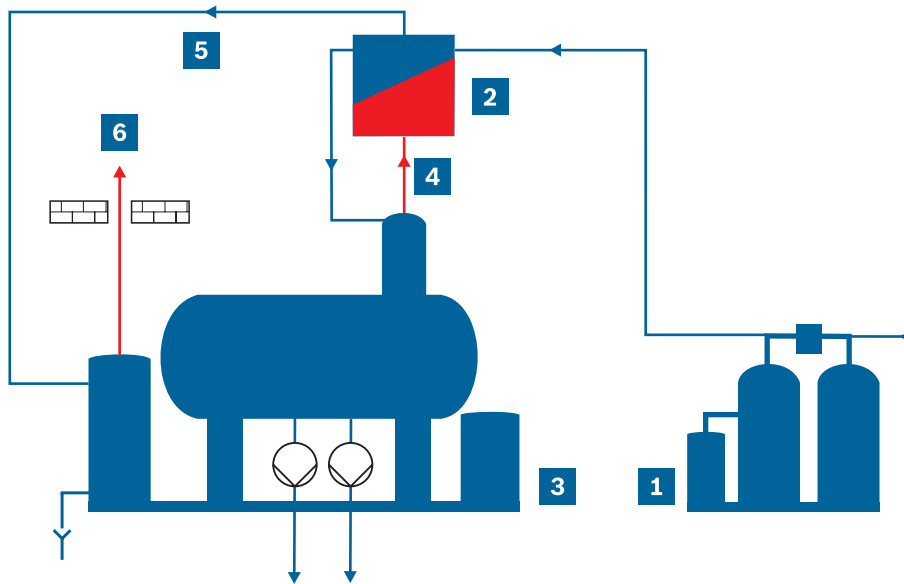
Sterowany zawór upustu oparów uniemożliwia wyrzut oparów w tym czasie, gdy nie zachodzi odgazowanie. Ten sposób pozwala uzyskać bardzo duże oszczędności energii w instalacjach, w których występuje sporo przestojów, np. pracujących w trybie dwuzmianowym. Zastosowanie ciągłej analizy wody z pomiarem stężenia tlenu w wodzie zasilającej w zbiorniku umożliwia precyzyjne sterowanie czasem trybu otwarcia zaworu w zależności od rzeczywistego zapotrzebowania, dzięki czemu straty są jeszcze mniejsze.

- **chłodnica oparów**

W chłodnicy oparów następuje proces kondensacji i schładzania oparów do temperatury  $\leq 35$  °C. Przekazywane jest ciepło, które zostaje użyte do podgrzania wody uzupełniającej, przez co zmniejsza się ilość pary potrzebnej do podgrzewania wody zasilającej w zbiorniku. Powstający w chłodnicy oparów kondensat jest odprowadzany przez rozprężacz odmulin do kanalizacji, ponieważ zawiera tlen i dwutlenek węgla w bardzo wysokich stężeniach mając przy tym bardzo niskie pH. Oprócz podgrzewania wody uzupełniającej ciepło z kondensacji oparów może być wykorzystane do podgrzewania wody technologicznej lub jako ciepło pomocnicze do celów grzewczych.

W związku z tym, że odgazowanie odbywa się niemalże bez przerwy, chłodnica oparów prawie zawsze amortyzuje się w ciągu niespełna roku. Bez problemu można także zainstalować chłodnicę oparów w istniejących kotłowniach..

→ Produkty – Rozdział 4.8: Chłodnica oparów VC, strona 352



**Ryc. 158** Schemat instalacji z chłodnicą oparów przy odgazowywaczu termicznym do odgazowania całkowitego (ilustracja przedstawia instalację w dużym uproszczeniu)

- 1** Moduł uzdatniania wody WTM
- 2** Chłodnica oparów VC
- 3** Moduł przygotowania wody WSM-V

- 4** Opary (103 °C)
- 5** Kondensat z oparów (ok. 35 °C)
- 6** Przez dach do atmosfery



**Ryc. 159** Chłodnica oparów



### 3.3 Demineralizacja

Za systemem do zmiękczenia wody, koniecznym w każdej kotłowni parowej, można zainstalować urządzenie do demineralizacji wody uzdatnionej.

Technika – Rozdział 4.1.3: Demineralizacja, strona 183

Demineralizacja pozwala przede wszystkim zmniejszyć strumień odsolin, a tym samym straty ciepła z kotła. Przez zmniejszenie stopnia zasolenia, a więc i przewodności wody kotłowej, polepsza się jakość pary. Powszechnie stosowaną metodą odsalania jest odwrócona osmoza przez membranę półprzepuszczalną.

Technika – Rozdział 4.1.3: Demineralizacja – odwr. osmoza, strona 185

### 3.4 Gospodarka kondensatem

Kondensat (skropliny) powstaje w każdym miejscu w systemie, w którym następuje oddawanie ciepła przez parę. Przechodząc z fazy gazowej w fazę ciekłą para nasycona skrapla się oddając ciepło.

Technika – Rozdział 4.4: Gospodarka kondensatem, strona 201

Powstający kondensat może występować w temperaturze wrzenia (np. przy spuszczeniu z przewodu parowego) lub w stanie przechłodzonym (np. w wymiennikach ciepła).

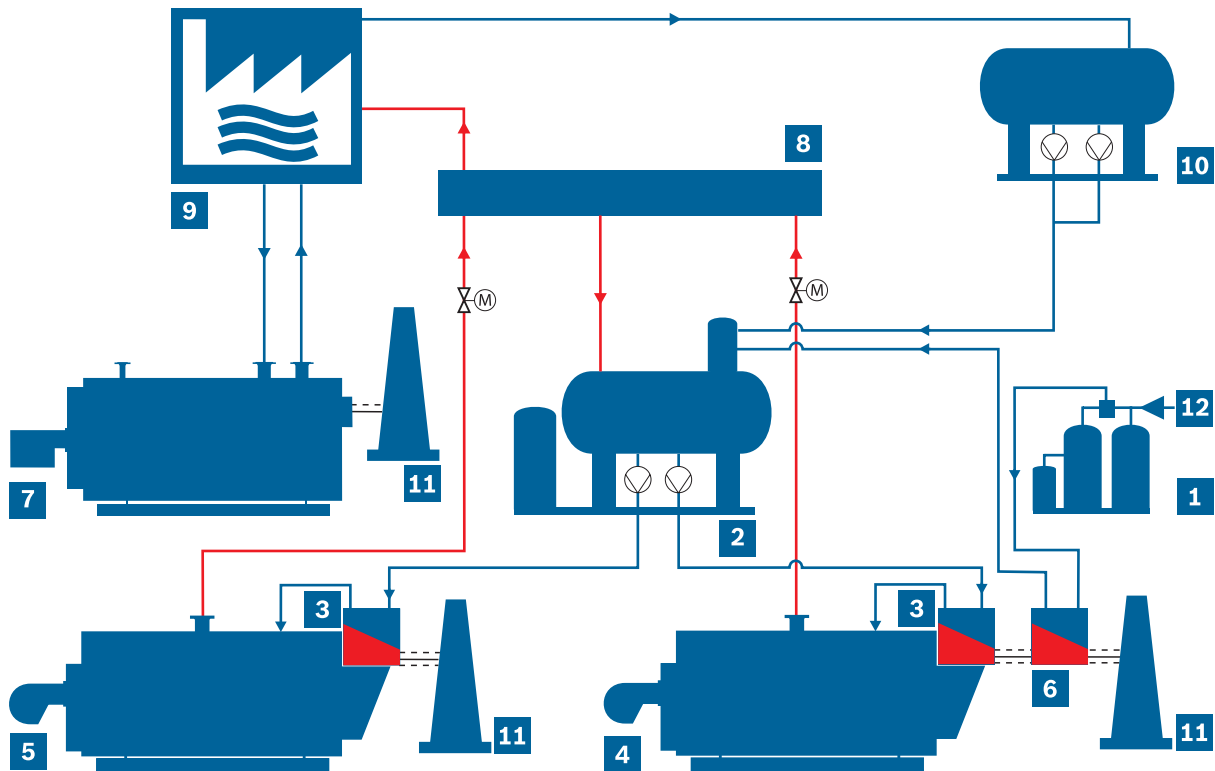
Stopień przechłodzenia kondensatu w wymiennikach ciepła zależy od rodzaju regulacji wymiennika, najczęściej nie przekracza 10 – 30 K.

W prawie wszystkich wypadkach wskazane i opłacalne jest zbieranie kondensatu z wymienników ciepła i zwracanie go do obiegu kotłowego lub zagospodarowanie w inny sposób.

Powtórne wykorzystanie kondensatu pozwala obniżyć koszty eksploatacji. Po pierwsze, kondensat zawiera ciepło, które można odzyskać. Po drugie, potrzeba mniej świeżej wody do zasilania kotła, a tym samym mniejsze będą straty w wyniku odsalania wody kotłowej i odmulania kotła.

Wymiarując zbiornik i pompy do przepompowywania kondensatu należy wziąć pod uwagę maksymalny strumień kondensatu spływający z odbiorników pary. Trzeba też pamiętać o tym, że kondensat spływa do zbiornika z pewnym opóźnieniem. Wielkość zbiornika kondensatu musi być obliczona w taki sposób, aby między najniższym i najwyższym poziomem zbiornik mógł zgromadzić półgodzinną ilość kondensatu. Wydajność pomp kondensatu powinna odpowiadać co najmniej 3-krotności godzinnej ilości kondensatu w normalnych warunkach roboczych. Należy też dobrze przyjrzeć się etapowi rozruchu odbiorników ciepła, gdyż wówczas, w związku z ogrzewaniem się instalacji mogą pojawić się większe ilości kondensatu.

W zależności od poziomu ciśnienia i temperatury w instalacji kondensat może mieć temperaturę 80 – 140 °C, co stanowi znaczący potencjał ciepła w porównaniu z zimną wodą uzupełniającą mającą temperaturę około 15 °C. Gorący kondensat może być użyty do podgrzania wody zasilającej, co pozwoli zaoszczędzić koszty podgrzewania świeżej wody. Poza tym kondensat nie musi już być uzdatniany chemicznie, ale może być wpuszczony bezpośrednio do zbiornika wody zasilającej.



Ryc. 160 Schemat otwartego systemu kondensatu

- |                                         |                                            |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>1</b> Moduł przygotowania wody       | <b>7</b> Kocioł grzewczy                   |
| <b>2</b> Moduł przygotowania wody WSM-V | <b>8</b> Kolektor pary                     |
| <b>3</b> Ekonomizer ECO                 | <b>9</b> Odbiornik                         |
| <b>4</b> Kocioł parowy UL-S             | <b>10</b> Moduł gromadzenia kondensatu CSM |
| <b>5</b> Kocioł parowy U-HD             | <b>11</b> Komin                            |
| <b>6</b> Wymiennik ciepła kondensacyjny | <b>12</b> Woda świeża                      |

### 3.4.1 Para wtórna z rozprężania

Zbieranie kondensatu w zbiorniku bezciśnieniowym jest nazywane systemem otwartym kondensatu. Temperatura kondensatu znajduje się zawsze na poziomie  $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kondensat może wchodzić w kontakt z tlenem. Pompa kondensatu przepompowuje kondensat z powrotem do zbiornika wody zasilającej gdy poziom wody w zbiorniku odpowiednio spadnie.

Najczęściej kondensat zbierany z wielu odbiorników pary ma różne temperatury i ciśnienia. Zdarza się, że do otwartego zbiornika kondensatu zostanie również wprowadzony kondensat o temperaturze  $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para wtórna powstająca przy rozprężaniu kondensatu jest w systemie otwartym wyrzucana przewodem oparów do powietrza atmosferycznego. Wraz z parą wtórną jest tracone ciepło. To ciepło oparów może być odzyskane w module oparów przy zbiorniku i wykorzystane zasilania odbiorników niskotemperaturowych, jak np. instalacja grzewcza czy instalacja ciepłej wody.

### 3.4.2 Zbiornik wysokociśnieniowy kondensatu

Gdy w instalacji występuje kilka odbiorników o powierzchniach wymiany zaprojektowanych na w przybliżeniu jednakowe poziomy wysokiego ciśnienia ( $> 1,5\text{ barg}$ ), kondensat ze wszystkich wymienników ciepła może być wprowadzony do wspólnego wysokociśnieniowego systemu kondensatu. System taki jest nazywany również zamkniętym.

→ Technika – Rozdział 4.4: Gospodarka kondensatem, strona 201

W systemie zamkniętym nie występują straty pary wtórnej. W trybie normalnej pracy kondensat nie ma kontaktu z tlenem, może więc być odprowadzony z powrotem bezpośrednio do kotła lub ekonomizera, dzięki czemu można ograniczyć ilości wody świeżej do zasilania kotła i środków chemicznych do jej kondycjonowania. System zamknięty pozwala uzyskać o wiele większe oszczędności niż system otwarty o takiej samej strukturze odbiorów.

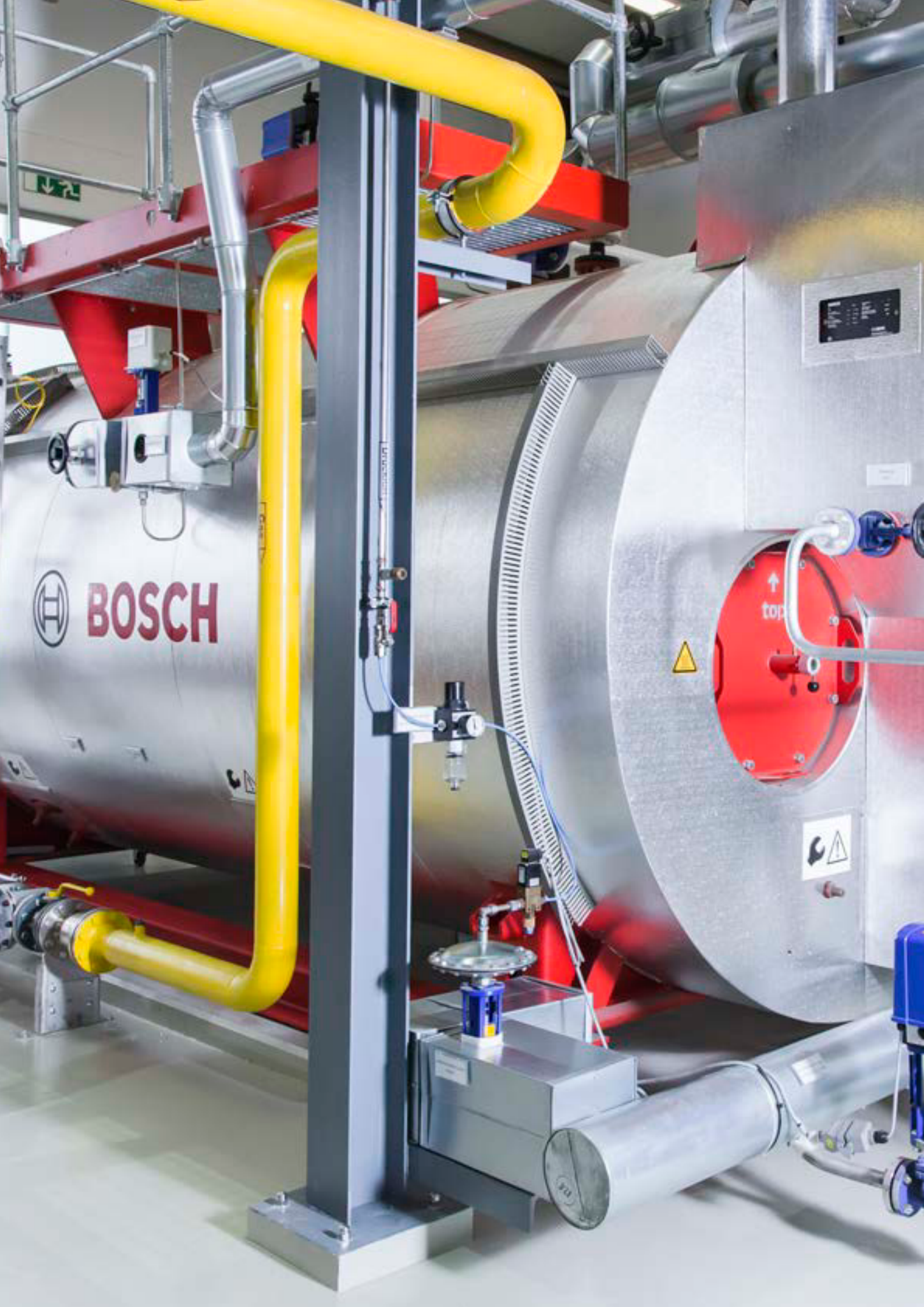
System zamknięty (ciśnieniowy) kondensatu pozwala uzyskać do 12 % oszczędności kosztów paliwa. Potrzeba tylko niewiele świeżej wody do uzupełnienia obiegu i mniej energii cieplnej na jej podgrzanie i odgazowanie. Dodatkowo dzięki minimalnemu stężeniu soli w kondensacie ciśnieniowym zmniejszają się strumienie odsolin i odmulin. Kolejną korzyścią płynącą ze stosowania zamkniętego systemu kondensatu jest ograniczenie korozji w układzie kondensatu.

Systemy ciśnieniowe kondensatu powinny być stosowane zawsze tam gdzie z powodu wysokiej temperatury kondensatu występowałyby duże straty pary wtórnej z rozprężania przy wprowadzaniu kondensatu do zbiornika kondensatu lub zbiornika wody zasilającej. Typowymi branżami, w których znajdują zastosowanie ciśnieniowe układy kondensatu to m.in. przemysł browarniczy, fabryki papieru i tektury.

Nadmienić należy, że ze względu na wysoką temperaturę kondensatu odzysk ciepła w ekonomizerze może się pogorszyć.



**Ryc. 161** Zbiornik wysokociśnieniowy kondensatu wraz z osprzętem i sterowaniem



 **BOSCH**

↑  
top







## 4 Podwyższenie efektywności kotła i instalacji

### 4.1 Izolacja

Straty przez promieniowanie i przewodzenie powstają w wyniku różnicy temperatur pomiędzy czynnikiem wewnątrz kotłów parowych, rurociągów, armatur a otoczeniem.

Na wielkość strat ciepła wpływają rozmiary powierzchni zewnętrznej, temperatura czynnika i otoczenia oraz wykonanie izolacji.

Te straty nie są zależne od mocy kotła i występują zawsze, także wtedy gdy kocioł aktualnie nie pracuje. Zachodzą w niewyłączonych z ruchu instalacjach i częściach instalacji nieustannie przez 365 dni w roku. Zwłaszcza w instalacjach często pracujących na obciążeniach częściowych wywierają negatywny wpływ na ich sprawność całoroczną.

→ Efektywność – Rozdział 1.7: Sprawność całoroczna, strona 255

Stan izolacji cieplnej instalacji można zbadać przy użyciu kamery termowizyjnej lub też tańszymi sposobami szukając miejsc, w których następuje największa utrata ciepła wykrywając gorące obszary przez dotyk, wzrokowe zlokalizowanie ubytków izolacji czy pomiar temperatury termometrem powierzchniowym lub pirometrem. Wykryte braki w izolacji należy naprawić.

Temperatura jest jednak miarą wysokości strat ciepła tylko w ograniczonym stopniu. Zwłaszcza wtedy gdy porównuje się ze sobą różne materiały powierzchni, niższa temperatura niekiedy wskazuje na większą stratę ciepła.

Przyczyną jest współczynnik promieniowania cieplnego powierzchni izolacji. Wyższy współczynnik zwiększa utratę ciepła, ale jednocześnie obniża temperaturę powierzchniową. Korzystne jest więc użycie materiału o niewielkim współczynniku emisji promieniowania  $\epsilon$ .

#### Przykład:

Zbiornik wody zasilającej	$L = 3\,600\text{ mm}$ , $\varnothing = 1\,700\text{ mm}$
Izolacja	$D = 100\text{ mm}$
Temperatura czynnika	$103\text{ }^{\circ}\text{C}$

Materiał powierzchni <sup>1)</sup>	Współczynnik emisyjności $\epsilon$	Strata ciepła przez płaszcz zbiornika	Temperatura powierzchniowa
Aluminium walcowane	0,05	627,5 W	30,0 °C
Aluminium oksydowane	0,13	635,5 W	29,0 °C
Blacha cynkowana błyszcząca	0,26	645,5 W	27,6 °C
Blacha ocynkowana matowa	0,44	655,5 W	26,3 °C
Stal austenityczna	0,15	637,2 W	28,7 °C
Blacha cynkowo-aluminiowa lekko oksydowana	0,18	639,7 W	28,4 °C
Powierzchnia niemetalowa	0,94	671,2 W	24,2 °C

Tab. 28 Współczynniki emisyjności, straty ciepła i temperatury powierzchniowe dla powierzchni z różnych materiałów

1)Zgodnie z VDI 2055 Załącznik 1 Dodatek A8

W starszych instalacjach największe straty ciepła są powodowane głównie przez brak izolacji na armaturach, usuwanie izolacji z części instalacji na czas rewizji lub naprawy i nieizolowanie ich ponownie po zakończeniu prac czy mostki termiczne tworzone w wyniku przesuwania ochronnych powłok izolacyjnych.

Samo już zlikwidowanie tych punktów utraty ciepła w starszych instalacjach pozwala zapobiec sporej części strat ciepła przez promieniowanie i przewodzenie bez konieczności wykonywania kompletnej nowej izolacji. Zaizolowanie pozbawionych izolacji obszarów w całej instalacji (np. kotła, przewodów pary i kondensatu, armatury, zbiorników) jest jednym z najtańszych sposobów skutecznej redukcji kosztów eksploatacji starszych systemów.

Same straty ciepła przez promieniowanie i przewodzenie występujące w kotle można obliczyć w prosty sposób podczas przestoju kotła. Po wyłączeniu kotła (np. na weekend) można określić obniżenie ciśnienia przy zamkniętych zaworach pary, odsalającym i odmulającym. Zaczynając od ciśnienia pary w kotle 10 bar spadek ciśnienia nie powinien wynieść więcej niż 0,2 bar/h. Należy mieć na uwadze, że uwzględnione muszą być nie tylko straty przez promieniowanie i przewodzenie, ale również wentylacyjna strata ciepła przez komin. Na rezultat może mieć także wpływ nieszczelność zaworów w stanie zamkniętym.

Strata ciepła zmierzona pośrednio przez obniżenie ciśnienia występuje jednak niezależnie od przyczyny i należy jej zapobiegać.

Skuteczność izolacji można podwyższyć kilkoma sposobami, które przedstawiamy w dalszym ciągu tego rozdziału.

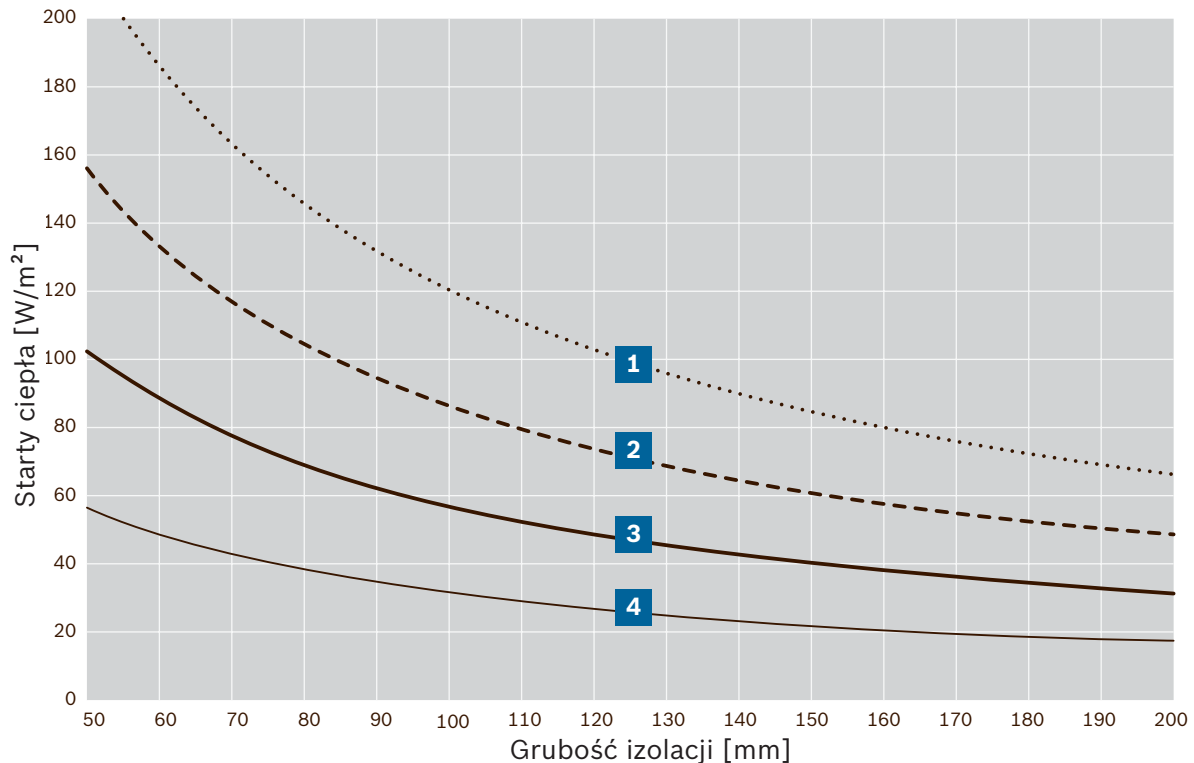




#### 4.1.1 Grubość i powierzchnia izolacji

Zwiększając grubość izolacji można obniżyć temperaturę na powierzchni izolacji, a tym samym ilość traconego ciepła. Należy jednak kierować się rozważą przy wyborze optymalnego ekonomicznie rozwiązania, bowiem podwojenie grubości izolacji nie będzie automatycznie oznaczać zmniejszenia o połowę strat ciepła.

Drugim czynnikiem obok grubości izolacji, który odgrywa decydującą rolę dla całkowitej straty ciepła, jest powierzchnia izolacji. Zwarty kształt kotła, jaki daje np. rozwiązanie konstrukcyjne z asymetrycznie umieszczoną płomienicą, oraz zintegrowany ekonomizer dają korzyść w postaci mniejszej powierzchni izolacji.



Ryc. 162 Straty ciepła przez zaizolowany obszar powierzchni zbiorników i kotła

- |                                               |                                           |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>1</b> Temperatura czynnika: 250 °C (·····) | <b>3</b> Temperatura czynnika: 150 °C (—) |
| <b>2</b> Temperatura czynnika: 200 °C (- - -) | <b>4</b> Temperatura czynnika: 100 °C (—) |

Wykres (ryc. 162) pokazuje, że przy grubości izolacji 100 mm i temperaturze czynnika 150 °C występuje strata ciepła około 57 W/m<sup>2</sup>.

Przy grubości izolacji 150 mm strata ciepła zmniejsza się o około 30 % do około 40 W/m<sup>2</sup>. Gdy grubość izolacji zostanie zwiększona do 200 mm, strata ciepła zmniejszy się o 44 % wobec izolacji o grubości 100 mm do 32 W/m<sup>2</sup>.

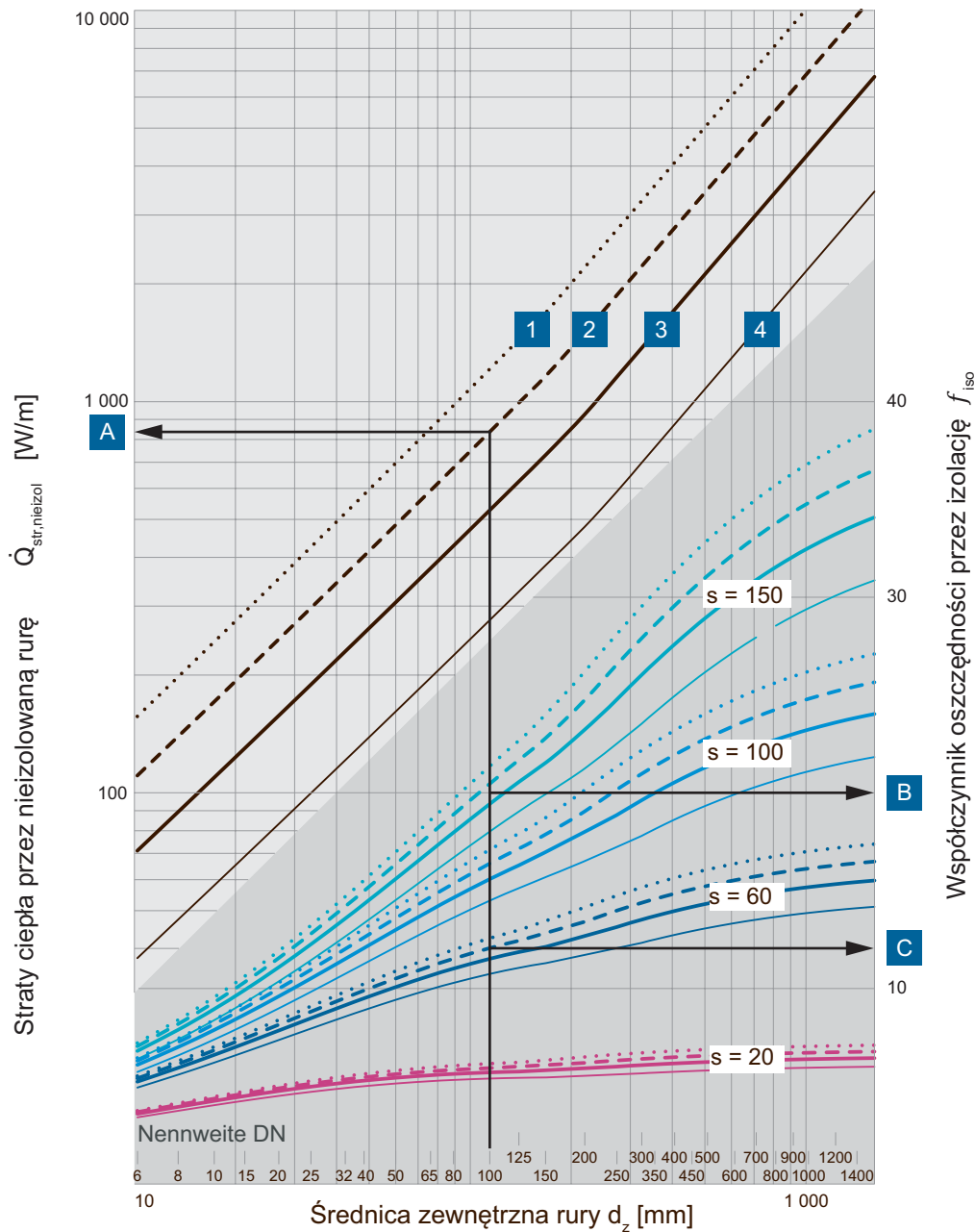
To dotyczy jednak tylko zaizolowanych obszarów bez mostków termicznych. Ponieważ straty przez mostki termiczne mogą szybko przewyższyć straty w dobrze zaizolowanym obszarze cylindrycznym, trzeba zawsze mieć je na uwadze i starać się minimalizować je w jak największym stopniu.

#### 4.1.2 Izolacja rur





Ciągła izolacja rur, którymi przepływają gorące czynniki jest wymagana przepisami we wszystkich częściach instalacji nie tylko ze względu na oszczędność energii ale także ze względów bezpieczeństwa pracy.

O wyborze określonej grubości izolacji powinny jednak rozstrzygać nie tylko przepisy, ale przede wszystkim kwestie ekonomiczne.

W oparciu o poniższy wykres można w zależności od temperatury czynnika, średnicy rur i grubości izolacji określić zarówno absolutną stratę ciepła na metr nieizolowanej rury (rzędna po lewej stronie) jak również współczynnik oszczędności zaizolowanej rury (rzędna po prawej stronie).



Ryc. 163 Współczynnik oszczędności dzięki izolacji i straty ciepła na rurociągu

- |                                                 |                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> Temperatura czynnika: 250 °C (·····)   |  Grubość izolacji $s = 150$ mm |
| <b>2</b> Temperatura czynnika: 200 °C (- - - -) |  Grubość izolacji $s = 100$ mm |
| <b>3</b> Temperatura czynnika: 150 °C (— — —)   |  Grubość izolacji $s = 60$ mm  |
| <b>4</b> Temperatura czynnika: 100 °C (— — —)   |  Grubość izolacji $s = 20$ mm  |



Obliczenia dla wykresu na ryc. 163 wykonane są w oparciu o wytyczne VDI Część 1: rura przewodowa, stalowa malowana, nieizolowana, izolacja z wełny mineralnej, płaszcz izolacyjny z blachy aluminiowej walcowanej, przewód rurowy poziomy, temperatura otoczenia 20 °C.

**Przykład** (wyprowadzony z wykresu na ryc. 163):

Średnica przewodu pary DN 100  
Temperatura pary 200 °C

**A Strata ciepła na rurociągu nieizolowanym** (rzędna po lewej stronie)

$$\dot{Q}_{\text{str, nieizol}} = 837 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

**B Oszczędność uzyskana po zaizolowaniu rurociągu** (rzędna po prawej stronie)

(grubość izolacji  $s = 60 \text{ mm}$ ;  $\int_{\text{izo}} = 12,6$ )

$$\dot{Q}_{\text{str, izol}} = \frac{837 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]}{12,6} = 66,4 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

**C Oszczędność uzyskana po zaizolowaniu rurociągu** (rzędna po prawej stronie)

(grubość izolacji  $s = 150 \text{ mm}$ ;  $\int_{\text{izo}} = 20,5$ )

$$\dot{Q}_{\text{str, izol}} = \frac{837 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]}{20,5} = 40,8 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

Z powyższego wynika, że zwiększając grubość izolacji z 60 mm do 150 mm dla przewodu pary mierzącego 100 m długości można zaoszczędzić około 920 € rocznie (przy założeniu 8000 godzin pracy kotła i cenie 4,5 ct/kWh energii elektrycznej).

Każdy metr niezaizolowanego rurociągu kosztuje w tym wypadku ponad 300 € rocznie.

Przykład	Grubość izolacji [mm]	Strata ciepła na rurociągu [W/m]	Całkowita strata ciepła <sup>1)</sup> [kWh]	Oszczędność bezwzględna <sup>2)</sup> [kWh]	Oszczędność procentowa <sup>2)</sup> [%]	Oszczędność kosztów <sup>2)</sup> [€]
<b>A</b>	Rurociąg nieizolowany	837,0	669 600	---	---	
<b>B</b>	$s = 60$	66,4	53 120	---	---	
<b>C</b>	$s = 150$	40,8	32 640	20 480	38,6	921,60

**Tab. 29** Potencjalne oszczędności możliwe do uzyskania przez zwiększenie grubości izolacji na przykładzie rurociągu pary

<sup>1)</sup> Zakładając 100 m długości rurociągu i 8000 godzin pracy kotła rocznie

<sup>2)</sup> W odniesieniu do grubości izolacji 60 mm

### Minimalizowanie mostków termicznych

Mostki termiczne powstają zawsze wtedy, gdy metalowe połączenia o bardzo dobrej przewodności cieplnej przebijają izolację, jak np. w punktach zamocowania króćców, stóp kotła czy wsporników do platformy obsługowej.

Szczególnie w obszarze płaszcza ochronnego izolacji przebicia nie powinny bezpośrednio stykać się z izolacją, gdyż w przeciwnym razie powstają mostki termiczne skutkujące utratą ciepła. Wystarczy nawet owinąć króćce tkaniną izolacyjną, aby pewnie zapobiec ich powstawaniu. Elementy służące poprawie statyki i sztywności powinny znajdować się całkowicie w warstwie izolacji, nie przewodząc wcale ciepła na zewnątrz do płaszcza ochronnego.

Nie należy również używać elementów dystansowych w cylindrycznych płaszczach, ponieważ również działają one tak jak mostki termiczne. Przewodzenie ciepła od gorącego walczaka do płaszcza izolacyjnego jest wyeliminowane, a mata izolacyjna zatrzymuje odpływ ciepła na całej swojej powierzchni.



**Ryc. 164**

*Zapobieganie tworzeniu się mostków termicznych stosując izolację bez elementów dystansowych na cylindrycznym płaszczu kotła i zbiorników*



### 4.1.3 Izolowane otwory rewizyjne

Kotły parowe podlegają okresowym inspekcjom wewnętrznym przeprowadzonym przez właściwe organizacje nadzorcze. Otwory potrzebne do przeprowadzenia inspekcji tj. otwory wyczystkowe, rewizyjne i włazy wymagają przebicia przez płaszcz izolacyjny. Te otwory są izolowane i zamknięte zdejmowalnymi, zaizolowanymi pokrywami.

Otwory rewizyjne i wyczystkowe w komorach zbiorczych spalin i obudowach ekonomizerów są zaizolowane taką samą izolacją jak same urządzenia, aby zapobiec wypromieniowaniu przez nie ciepła. Etykiety na powierzchni informują o znajdujących się pod spodem otworach rewizyjnych.

Po przeprowadzonej rewizji lub zdjęciu izolowanej pokrywy z innej okazji należy ponownie zaizolować otwory rewizyjne.

Strata ciepła przez niezaisolowany ponownie otwór rewizyjny o powierzchni około 0,5 m<sup>2</sup> oznacza przy ciśnieniu roboczym 10 bar i temperaturze 185 °C stratę energii około 15 kWh dziennie.



Ryc. 165 Zdejmowana izolacja na otworach rewizyjnych (UL-S ze zintegrowanym ekonomizerem)

#### 4.1.4 Izolacja cieplna armatur

W wielu miejscach kotłowni parowej znajdują się elementy armatury niezbędne do obsługi i konserwacji instalacji. Często ze względów montażowych i finansowych czy też z uwagi na różne granice dostawy rezygnuje się z izolacji zaworów czy kołnierzy przejściowych w nowobudowanych instalacjach. Równie często spotyka się armaturę bez izolacji w starszych instalacjach.

Przez brak izolacji w tych miejscach z instalacji traci się bardzo dużo ciepła. W oszacowaniu strat ciepła przez nieizolowane elementy armatury pomocna będzie poniższa tabela.

Średnica nominalna rury		DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN
		50	65	80	100	125	150	200	250
<b>Długość zgodnie z EN 558 szereg 1</b>	[mm]	230	290	310	350	400	480	600	730
<b>Strata ciepła bez izolacji</b>	[W]	224	343	419	586	795	1 119	1 800	2 728
<b>Strata ciepła z izolacją</b>	[W]	21	27	29	33	43	58	88	127
<b>Oszczędność</b>	[W]	202	316	390	553	752	1 061	1 712	2 601
<b>Strata ciepła przy 8000 godz. pracy rocznie</b>	[kWh/a]	1 619	2 527	3 117	4 425	6 018	8 489	13 693	20 810
<b>Oszczędność przy cenie energii 4,5 ct/kWh</b>	[€/a]	73	114	140	199	270	382	616	936

**Tab. 30** Straty ciepła i koszty eksploatacji armatury bez izolacji (temperatura czynnika 200 °C)

#### Uwagi do tabeli:

- Temperatura czynnika 200 °C
- Obliczenie strat ciepła na przesyle w oparciu o VDI Część 1
- Przeliczenie strat ciepła na przesyle na straty ciepła przez armaturę ze współczynnikiem liniowym 1,6 dla elementów zaizolowanych i współczynnikiem liniowym 2 dla elementów nieizolowanych (z tego wynikają bardziej ostrożne szacunki strat ciepła dla elementów nieizolowanych i mniejsze oszczędności niż przy obliczeniach prowadzonych zgodnie z VDI 2055 Część 1).
- Długość zabudowy elementów armatury zgodnie z EN 558, szereg 1

Izolacja cieplna elementów armatury pozwala zmniejszyć stratę ciepła o około 500 W przy temperaturze czynnika 200 °C i średnicy nominalnej DN 100. Przy średnicach nominalnych DN 150 i większych oszczędność ta wyniesie około 1060 W. Zakładając koszt izolacji cieplnej rzędu 100 – 200 € na element armatury inwestycja ta zamortyzuje się w przeciągu jednego roku.

W całym systemie parowym elementy armatury są potrzebne w tak wielu miejscach, że potencjalna oszczędność z ich zaizolowania w systemach pary i kondensatu wynosi przeciętnie 1 – 5 % kosztów zużycia paliwa.



## 4.2 Regulacja

Ogromny potencjał oszczędności tkwi również w optymalnym dopasowaniu regulacji mocy kotła do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych. Precyzyjna regulacja mocy kotła jest wskazana zawsze, ponieważ warunki „teoretyczne”, które służą za podstawę wymiarowania kotła, zawsze różnią się od późniejszego stanu faktycznego. Dotyczy to zarówno instalacji nowobudowanych, np. gdy w przyszłości zostaną dołączone dodatkowe odbiorniki pary, jak i tych starszych, które przeszły modernizację lub muszą pracować w zmienionych warunkach z powodu rozszerzenia dotychczasowej produkcji przez zakład.

### 4.2.1 Obniżenie ciśnienia roboczego

Podczas projektowania i wymiarowania kotłowni parowej określa się średnie ciśnienie robocze bazując na wymaganym poziomie temperatury i stratach ciśnienia występujących podczas przesyłu pary do odbiorników. Jednakże kotły często są „na wszelki wypadek” wymiarowane na wyrost, po czym okazuje się, że w rzeczywistości spokojnie wystarczyłoby nieco mniejsze ciśnienie robocze.

Aby eksploatacja kotłowni była energetycznie optymalna należy ustalić rzeczywiście wymagane ciśnienie robocze i dokonać odpowiednich nastaw w sterowaniu kotła. Przy obniżonym ciśnieniu roboczym spada temperatura w kotle i przewodach pary, przez co zmniejsza się także strata ciepła przez promieniowanie i przewodzenie.

Przy każdej zmianie ciśnienia roboczego trzeba uwzględnić uwarunkowania instalacji.



→ Projektowanie – Rozdział 2.1: Średnie ciśnienie robocze, strona 29

Wystarczy obniżyć średnie ciśnienie robocze z 8 bar (temperatura pary nasyconej  $\pm 175$  °C) do 6 bar (temperatura pary nasyconej  $\pm 165$  °C) by strata ciepła przez przewodzenie i promieniowanie zmniejszyła się aż o 7 %, co odpowiada zaoszczędzeniu około 0,2 % paliwa.

Oprócz zmniejszenia straty ciepła lekko spadnie też temperatura spalin, wobec czego podwyższy się całoroczna sprawność kotła.

Poza tym nie zawsze jest potrzebna pełna moc kotła poza szczytowymi fazami zapotrzebowania na ciepło, np. w weekendy. Na ten czas najrozsądniej jest ustawić ciśnienie robocze kotła na niższą wartość.

### 4.2.2 Sterowanie kaskadą kotłów

Jeśli zakład użytkuje więcej niż jeden kocioł parowy sterowanie kaskadowe może pomóc zoptymalizować pracę poszczególnych kotłów.

Zadaniem sterowania kaskadą jest uruchomienie dokładnie tylu kotłów, ile potrzeba na pokrycie aktualnego zapotrzebowania na ciepło. Kotły są automatycznie dołączane i odłączane według zdefiniowanych kryteriów sterowania. Taki układ sterowania zapewnia energooszczędną i zrównoważoną eksploatację wszystkich kotłów w instalacji. Dokładne dopasowanie mocy kotłów do rzeczywistego zapotrzebowania na ciepło pozwala zmniejszyć straty wynikające z niepotrzebnego częstego włączania i wyłączania palników i przewietrzania komory spalania wymuszanej każdorazowo przed zapłonem palnika, umożliwia automatyczne przestawianie kotłów na tryb podtrzymania i optymalizację sprawności kotłów. W efekcie w instalacji występuje mniej strat energii, przez co podwyższa się jej sprawność całoroczna.



## 4.3 Automatyczny monitoring

Automatyczny monitoring i wizualizacja ważnych parametrów procesowych kotłowni parowej pozwalają szybko wykrywać nieprawidłowości w działaniu instalacji i łatwiej definiować obszary o potencjale optymalizacji.

Funkcja automatycznego monitoringu może obejmować rejestrowanie i analizowanie następujących danych:

- temperatura spalin,
- średnie ciśnienie robocze,
- poziom, liczba załączeń pomp, czas pracy pomp,
- obciążenie palnika, liczba startów palnika i procedur przewietrzania, pomiar poziomu zawartości tlenu w spalinach,
- pomiar przewodności i strumienia odsolin,
- parametry wody.

### 4.3.1 Ciągła analiza wody

Ciągła kontrola parametrów wody może przynieść w efekcie oszczędności na etapie przygotowania wody do zasilania kotła:

- zmniejszenie zużycia energii (minimalizacja strat ciepła uciekającego z oparami z odgazowania wody);
- zmniejszenie zużycia środków chemicznych (dozowanie dostosowane do rzeczywistych potrzeb).

→ Technika – Rozdział 4.5.5: Ciągła analiza wody, strona 206

### 4.3.2 Monitoring stanu instalacji (Condition Monitoring)

W trakcie bieżącej eksploatacji należy dążyć do uzyskania jak najwyższej całorocznej sprawności instalacji, w czym pomocny jest monitoring stanów roboczych oraz konserwacja instalacji. Parametry pracy kotła należy śledzić i porównywać przez dłuższy okres czasu, aby móc odpowiednio reagować w razie pogorszenia się warunków eksploatacyjnych lub zmiany sposobu eksploatacji kotła z przyczyn produkcyjnych.

Kontrolowanie i analizowanie wytwarzania i zużycia energii jest wymagane w wielu zakładach wdrażających zarządzanie energią na obszarze całego obiektu i stanowi potencjał oszczędności paliwa i energii elektrycznej, którego nie powinno się lekceważyć, gdyż często bez żadnych dodatkowych kosztów inwestycyjnych można uzyskać oszczędności przez samo tylko dopasowanie danych procesowych.

→ Technika – Rozdział 3.10: Sterowanie kotłem, strona 169

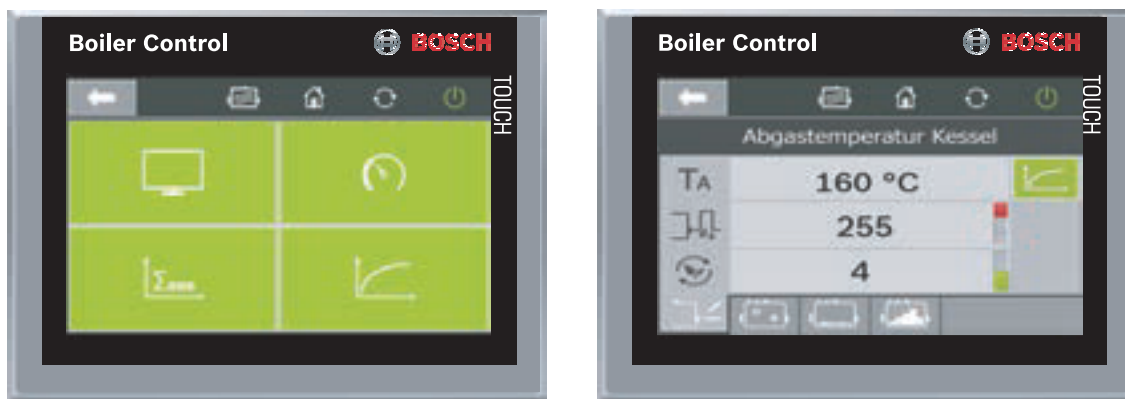
Część z tych zadań może realizować oprogramowanie Condition Monitoring. Do jego podstawowych funkcji należą:

- Wyświetlanie liczby godzin pracy, liczby startów palnika, liczby zimnych rozruchów w odniesieniu do określonego okresu czasu
- Rozpoznawanie niekorzystnych stanów rozruchowych
- Wykrywanie obecności zanieczyszczeń i niepożądanego kondensacji w wodzie i spalinach
- Generowanie komunikatów sygnalizujących konieczność przeprowadzenia konserwacji
- Pokazywanie strat energii przez odmulanie i odsalanie
- Pokazywanie zużycia paliwa i wody w odniesieniu do określonego okresu czasu
- Pokazywanie wielkości poboru pary w odniesieniu do określonego okresu czasu
- Pokazywanie profilu obciążenia kotła w odniesieniu do określonego okresu czasu



Różne dane systemowe są analizowane, oceniane i w czytelny sposób przedstawiane w oparciu o model wzorowany na ulicznej sygnalizacji świetlnej: kolor zielony oznacza, że wszystko jest w porządku, pomarańczowy i czerwony – że sposób pracy kotła coraz bardziej odbiega od prawidłowego albo jest nieekonomiczny. Charakterystyki pracy, które prowadzą do spadku sprawności, zwiększonego zużycia osprzętu lub nieprzewidzianych przestojów, mogą być wcześniej zdiagnozowane, przez co można ich uniknąć.

Dodatkowo na wyświetlaczu są pokazywane w bardzo przejrzystej formie różne przydatne dane procesowe, jak na przykład profil obciążenia kotła, liczba włączeń palnika czy straty ciepła wskutek odsalania i odmulania. Na podstawie tych obrazowych danych łatwo dostrzec możliwości zoptymalizowania pracy kotła pod względem energetycznym.



Ryc. 166 Condition Monitoring w sterowaniu kotłem BCO

### 4.3.3 MEC Optimize

MEC Optimize to inteligentny system do monitorowania i optymalizowania pracy kotłów przemysłowych, oferujący rozszerzony zakres funkcji w porównaniu z Condition Monitoring. Zbiera i analizuje wszystkie dane z kotła, systemów przygotowania wody, urządzeń do odzysku ciepła i pozostałych podłączonych do instalacji komponentów.

Dane procesowe są przechowywane w pamięci lokalnej przez wiele lat i oceniane metodą analizy trendów. Na przejrzystej wizualizacji można łatwo zlokalizować na przykład zwiększone zużycie energii i przyjrzeć się pracy kotła. Przykładowo, gdy zużycie paliwa wzrośnie z powodu zbyt dużego strumienia odsolin lub obecności zanieczyszczeń w kotle, cyfrowy asystent identyfikuje i sygnalizuje możliwe przyczyny niekorzystnego zjawiska.

Do podstawowych funkcji MEC Optimize można dodać usługę zdalnego wsparcia technicznego MEC Remote i powiadamiania użytkownika SMS lub emailem o aktualnym stanie instalacji.

→ Produkty – Rozdział 6.4: MEC Optimize, strona 373

## 4.4 Serwis



Ryc. 167 Serwis przemysłowy

Przepisy prawa regulujące kwestie związane z eksploatacją kotłowni parowych i instrukcje producentów nakładają na użytkownika obowiązek przeprowadzania regularnych konserwacji i utrzymania kotłowni w należytym stanie.

Niestety wypadający codziennie lub co 72 godziny obchód kontrolny kotła jest często uważany jedynie za dokuczliwą uciążliwość. Konserwacja i serwisowanie instalacji nie powinny być zanedbywane nie tylko ze względu na bezpieczeństwo techniczne, ale może nawet bardziej winny być postrzegane jako ważne zadanie służące optymalizacji działania instalacji.

Wiele rozwiązań optymalizujących eksploatację często można wprowadzić dopiero po uważnej obserwacji działania instalacji w realnych warunkach. Nawet niewielka zmiana w procesie operacyjnym, w tygodniowym wykorzystaniu instalacji, w wymaganym poziomie ciśnienia lub temperatury może sprawić, że instalacja zacznie działać w sposób nieoptymalny. Niektóre ze sposobów mających przywrócić optymalne działanie instalacji nie wymagają dużych nakładów inwestycyjnych.

Warto jest przeprowadzać badanie sprawności energetycznej dotychczas działających instalacji w regularnych odstępach czasu. Często najprostsze środki, jak np. zmiana parametrów sterowania, wystarczą do uzyskania znakomitych efektów.

Zaleca się konserwacje i wyregulowanie na nowo instalacji co kwartał lub co najmniej raz na pół roku.

Optymalizacja działania instalacji przynosi użytkownikowi następujące korzyści:

- utrzymanie stale wysokiej efektywności energetycznej,
- długi okres eksploatacji,
- wysoką bezawaryjność.



#### 4.4.1 Konserwacja

Działanie kotłowni parowej musi być sprawdzane i analizowane co 24 lub 72 godziny przez operatora kotła. Oprócz okresowych konserwacji przeprowadzanych przez personel kotłowni kocioł parowy musi być co roku poddawany jednej dużej i jednej małej inspekcji.

W ramach umowy o świadczeniu kompleksowej obsługi serwisowej nasi serwisanci zobowiązani są dwa lub cztery razy w ciągu roku do kontroli i konserwacji kotła i układu zapłonu, jego jednostki sterującej oraz systemu przygotowania wody aż po kompletnie wyposażoną kotłownię. Konserwacja ma na celu zagwarantowanie gotowości operacyjnej kotła i jego dyspozycyjności, zoptymalizowanie zużycia paliwa i zapobieżenie niespodziewanym przestojom w produkcji. Możemy również podjąć na żądanie wszelkie niezbędne prace monitorujące wymagane w ramach przepisowych 72-godzinnych testów. Indywidualnie dopasowane do Państwa potrzeb, w formie jednorazowego zlecenia lub umowy serwisowej.

#### 4.4.2 Modernizacja



**Ryc. 168** Modernizacja działającej dotychczas instalacji wedle najnowszych standardów

Przy prawidłowym serwisowaniu kotłowni parowe mogą pracować niezawodnie przez kilkadziesiąt lat. Niemniej jednak niemal każdy kocioł parowy po przekroczeniu 15 lat eksploatacji wymaga pewnych modernizacji:

- komponentów kotła i instalacji (np. regulacja częstotliwości, regulacja pomiaru poziomu zawartości  $O_2$  i CO w spalinach, chłodzenie wody zasilającej, technika kondensacyjna);
- wyposażenia regulacyjno-sterującego (np. czujniki, sterowania oparte na sterownikach programowalnych, układy logiczne regulacji i monitoringu, systemy automatyzacji i teletechniki)

Dodatkowo potrzeba modernizacji może zaistnieć w związku z zaostrzeniem wymagań w zakresie:

- ochrony środowiska,
- efektywności energetycznej,
- przepisów prawa i ustaw (np. limity szkodliwych emisji ze spalinami, obowiązek wprowadzenia zarządzania energią i przeprowadzania audytów energetycznych)

Ponadto zakłady i występujące w nich odbiorniki pary są mocno rozwijane z biegiem czasu, tak że aktualny sposób eksploatacji kotła najczęściej dalece różni się od pierwotnie zakładanego. Jak wynika z badań Federalnego Związku Niemieckiego Przemysłu Grzewczego (BDH), można mówić o poważnym zastoju modernizacyjnym w zakresie instalacji do wytwarzania ciepła i pary. Więcej niż 80 % dotychczas działających instalacji w Niemczech jest użytkowanych nieefektywnie. Podjęcie stosownych działań modernizacyjnych mogłoby podnieść sprawność energetyczną o 20 do 30 %.

Modułowość naszych systemów umożliwia proste i szybkie zmodernizowanie istniejącej instalacji kotłowej. Zachowane pozostają trwałe komponenty, jak np. korpus kotła, które dozbieramy w nowoczesne technologie. W wielu wypadkach inwestycje modernizacyjne amortyzują się już w ciągu 1-2 lat.

W poniższej tabeli zawarto szczególnie polecane opcje modernizacyjne ze względu na możliwość szybkiej instalacji bez przerywania procesu wytwarzania energii. Dodatkowo tabela wskazuje na potencjał oszczędnościowy każdej z opcji. Przy dobrze zaplanowanym połączeniu kilku z nich można uzyskać dodatkowe efekty synergii.

- **Modernizacja bardzo łatwa:** mały koszt projektu, bez zmian w dotychczasowym sterowaniu, instalacja zwykle może być wykonana bez przerywania procesu wytwarzania energii lub z przerwaniem go tylko na krótką chwilę;
- **Modernizacja łatwa:** nieco większy koszt projektu, dozbrojenie w szafie rozdzielczej, instalacja może być wykonana z krótkimi przerwami w bieżącym procesie wytwarzania pary;
- **Modernizacja wymagająca dużych nakładów:** przebudowa zakrojona na szerszą skalę, realizacja której wymaga przerywania bieżącego procesu wytwarzania pary.



Opcje modernizacyjne szczególnie odpowiednie do dozbrojenia	Potencjalne oszczędności	Rodzaj modernizacji
Wymiana uszkodzonej i uzupełnienie brakującej izolacji (np. elementów armatury, otworów rewizyjnych)	3 ... 8 % paliwa	Bardzo łatwa
Chłodnica oparów	≤ 0,5 % paliwa	Łatwa
Chłodzenie wody zasilającej	≤ 1,8 % paliwa	Łatwa
Moduł rozprężania i odzysku ciepła	≤ 1,0 % paliwa Mniej świeżej wody Mniej ścieków	Łatwa
Demineralizacja wody uzupełniającej	1 ... 5 % paliwa	Łatwa
Sterowany zawór oparów	0,5 ... 1 % paliwa	Łatwa
Wymiana palnika w celu optymalizacji mocy kotła	≤ 8 % paliwa	Łatwa
Regulacja procesu spalania poprzez pomiar poziomu zawartości O <sub>2</sub> i CO w spalinach	≤ 1,0 % paliwa	Łatwa
Wentylator z regulowaną prędkością obrotową	≤ 75 % kosztów energii elektrycznej	Łatwa
Zautomatyzowany monitoring stanów instalacji i optymalizacja regulatorów	1 ... 3 % paliwa	Łatwa
Para wtórna z rozprężenia kondensatu	1 ... 3 % paliwa	Łatwa
Wymiennik ciepła ze spalin	5 ... 7 % paliwa	Łatwa
Wymiennik ciepła kondensacji	5 ... 7 % paliwa	Łatwa
Podgrzewanie powietrza	1 ... 3 % paliwa	Wymagająca dużych nakładów
Przebrojenie z oleju na gaz, wyposażenie do spalania wielopaliwowego	≤ 25 % kosztów, ≤ 30 % emisji CO <sub>2</sub>	Wymagająca dużych nakładów
Zamknięty system kondensatu	5 ... 12 % paliwa	Wymagająca dużych nakładów

**Tab. 31** Opcje modernizacyjne i ich potencjał oszczędności





**BOSCH**

Compressor 1  
4-Zug Kessel





## 5 Kombinowanie procesów

### 5.1 Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej

W obszarze komercyjnym i przemysłowym korzystanie z urządzeń wytwarzających jednocześnie energię elektryczną i ciepłą może być opłacalną alternatywą dla wytwarzania ciepła czysto do celów technologicznych czy grzewczych.

Turbina gazowa lub moduł kogeneracyjny wytwarza energię mechaniczną (moc), która jest przekształcana przez generator na prąd elektryczny. Gorące spaliny z tego procesu, których temperatura wynosi zazwyczaj 300 – 600 °C, są wykorzystywane dalej przez kocioł odzysknicowy lub 4-ciągowy do wytwarzania pary lub gorącej wody (ciepła).

Kocioł 4-ciągowy to konwencjonalnie opalany wodny lub parowy kocioł 3-ciągowy wyposażony w dodatkowy, czwarty ciąg płomieniówek wykorzystujący ciepło odpadowe.

→ Produkty – Rozdział 3.2: Kocioł 4-ciągowy z palnikiem, strona 338

Stosując nasz wariant konstrukcyjny z własnym opalaniem zwykle można zrezygnować z dodatkowego kotła służącego do pokrycia zapotrzebowań szczytowych, koniecznego w przypadku korzystania z kotła odzysknicowego bez dodatkowego palnika. Dzięki temu znacząco zmniejszają się wydatki na inwestycję i koszty instalacji. Taki kocioł zajmuje również o wiele mniej miejsca. Energia cieplna pozyskana ze spalin wylotowych sięga do 15 % całkowitej mocy cieplnej kotła. Często to rozwiązanie jest optymalnym sposobem pokrycia podstawowego zapotrzebowania na ciepło.

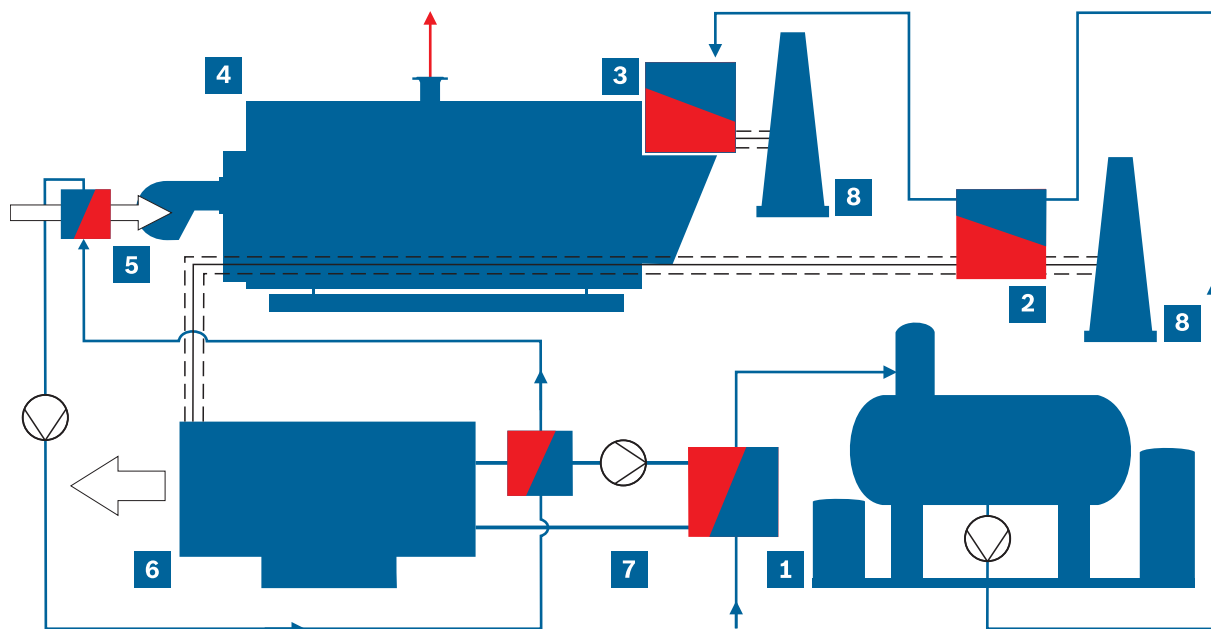
→ Produkty – Rozdział 3.1: Kocioł odzyskowy UNIVERSAL HRSB, strona 335

Jeśli jednak podstawowe zapotrzebowanie na ciepło jest zdecydowanie większe, lepszą alternatywą może być zainstalowanie kotła służącego do pokrycia zapotrzebowań szczytowych w połączeniu z kotłem czysto odzysknicowym.

Zawsze jednak zaleca się tak dobrać moc agregatu będącego źródłem ciepła odpadowego (turbiny gazowej/ modułu kogeneracyjnego), aby energia cieplna pozyskiwana z opuszczającego go strumienia spalin nie przekraczała podstawowego obciążenia odbiorników ciepła. Wytwarzanie prądu będzie wówczas przebiegać stale w ekonomicznie optymalnym punkcie pracy bez straty ciepła ze spalinami bezużytecznie odprowadzanymi do atmosfery.



Ryc. 169 Kocioł odzyskicowy HRSB marki Bosch



Ryc. 170 Przykład hydraulicznego włączenia modułu kogeneracyjnego w proces wytwarzania pary do celów technologicznych przez kocioł pary płomienicowo-płomieniówkowy z własnym opaleniem!

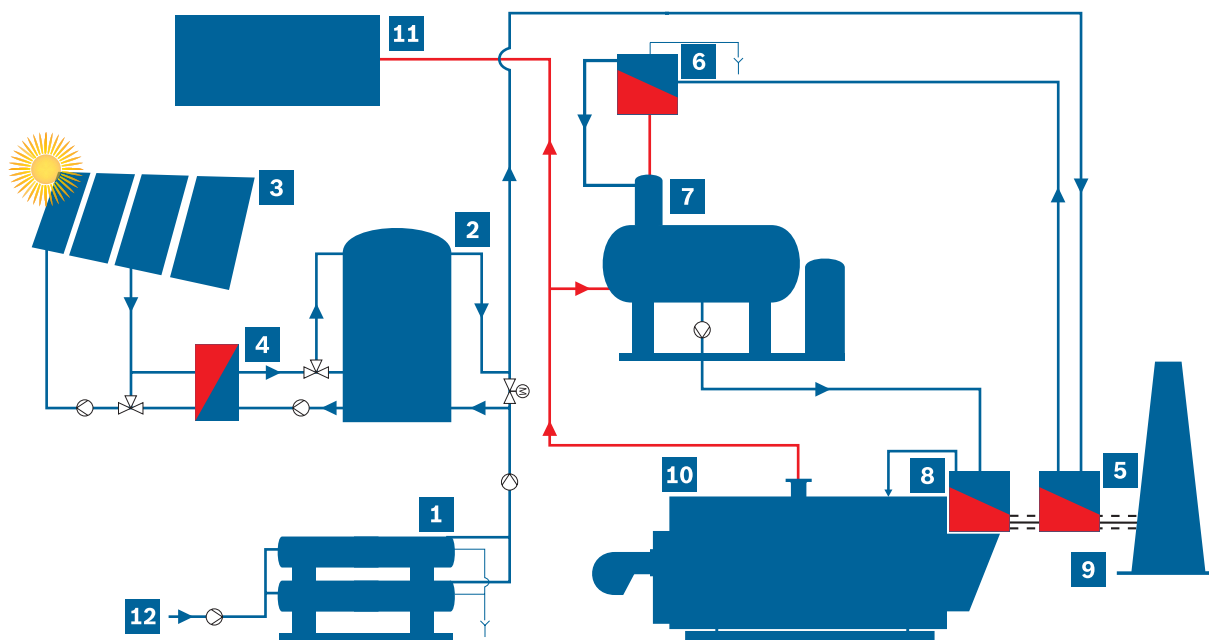
- |                                               |                                            |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>1</b> Moduł przygotowania wody WSM-V       | <b>5</b> Podgrzewacz powietrza do spalania |
| <b>2</b> Spalinowy wymiennik ciepła           | <b>6</b> Moduł kogeneracyjny               |
| <b>3</b> Ekonomizer                           | <b>7</b> Woda do chłodzenia silnika        |
| <b>4</b> Kocioł pary z 4 ciągiem płomieniówek | <b>8</b> Komin                             |



## 5.2 Wykorzystanie energii słonecznej

W kotłowniach parowych zużywających duże ilości wody uzupełniającej warto zastosować kombinację z kolektorami słonecznymi. Uzdatniona woda uzupełniająca może zostać wstępnie podgrzana energią słoneczną. W kotłę zostaje do niej doprowadzona dodatkowa energia aby wytworzyć parę suchą nasyconą.

W sprzyjających warunkach brzegowych stosując taką kombinację systemów można zapewnić ekonomiczne i przyjazne środowisku dostarczenie energii.



Ryc. 171 Przykład hydraulicznego włączenia systemu solarnego w proces wytwarzania pary do celów technologicznych (ilustracja przedstawia instalację w dużym uproszczeniu)

- |                                             |                                         |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>1</b> Urządzenie do odwróconej osmozy    | <b>7</b> Moduł przygotowania wody WSM-V |
| <b>2</b> Akumulator ciepła                  | <b>8</b> Ekonomizer ECO                 |
| <b>3</b> Kolektory słoneczne                | <b>9</b> Komin                          |
| <b>4</b> Wymiennik ciepła                   | <b>10</b> Kocioł parowy UL-S            |
| <b>5</b> Kondensacyjny wymiennik ciepła ECO | <b>11</b> Odbiornik ciepła              |
| <b>6</b> Chłodnica oparów VC                | <b>12</b> Woda świeża                   |

# Produkty

<b>1</b>	<b>Przegląd kotłów parowych i osprzętu</b>	<b>311</b>
<b>2</b>	<b>Kotły parowe</b>	<b>313</b>
2.1	Kocioł parowy UNIVERSAL CSB	313
2.2	Kocioł parowy UNIVERSAL U-MB	318
2.3	Kotły parowe UNIVERSAL UL-S/UL-SX	323
2.4	Kotły parowe UNIVERSAL ZFR/ZFR-X	328
2.5	Moduł przegrzewacza	333
<b>3</b>	<b>Kotły odzysknicowe i odzysk ciepła odpadowego</b>	<b>335</b>
3.1	Kocioł parowy odzysknicowy UNIVERSAL HRSB	335
3.2	Kocioł 4-ciągowy z palnikiem	338
3.3	Energooszczędność systemu	340
<b>4</b>	<b>Moduły dla kotłów parowych</b>	<b>343</b>
4.1	Moduł przygotowania wody WSM	343
4.2	Kolektor pary SD	345
4.3	Moduł akumulacji pary SAM	346
4.4	Moduł gromadzenia kondensatu CSM, wysokociśnieniowy system kondensatu CHP	347
4.5	Moduł rozprężania i schładzania odsolin i odmulin BEM	349
4.6	Moduł rozprężania i odzysku ciepła EHM	350
4.7	Moduł rozprężania, odzysku ciepła i spustu wody EHB	351
4.8	Chłodnica oparów VC	352
4.9	Moduł pompowy PM	352
4.10	Moduł regulacji wody zasilającej RM	353
4.11	Wymiennik do odzysku ciepła ze spalin ECO wolnostojący	354
4.12	Wymiennik ciepła kondensacyjny wolnostojący	355
4.13	Moduł podgrzewania powietrza APH	356
4.14	Moduł chłodzenia wody zasilającej FWM	358
4.15	Analizator wody WA	359



<b>5</b>	<b>Moduły do zasilania kotłów</b>	<b>363</b>
5.1	Moduł uzdatniania wody WTM	363
5.2	Moduł regulacji gazu GRM	364
5.3	Moduł cyrkulacji oleju OCM	364
5.4	Moduł dostarczania oleju OSM	365
5.5	Moduł regulacji ciśnienia oleju ORM	365
5.6	Moduł podgrzewania oleju OPM	366
<b>6</b>	<b>Systemy sterowania</b>	<b>369</b>
6.1	Sterowanie kotłem BCO	369
6.2	Kompaktowe sterowanie kotłem parowym CSC	371
6.3	Sterowanie systemem SCO	372
6.4	MEC Optimize	373
6.5	MEC System	375
6.6	MEC Remote	376





**BOSCH**

Bosch Industriekessel GmbH  
Ein Unternehmen der  
Bosch Thermotechnik GmbH

 **BOSCH**





**Przegląd produktów**

Kotły parowe

Odzysk ciepła odpadowego





Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

# 1 Przegląd kotłów parowych i osprzętu

## Kotły parowe

	CSB <sup>1)</sup>	CSB <sup>2)</sup>	U-MB	UL-S(X)	ZFR(X)
					
<b>Wydajność t/h</b>	0,3–4,8	0,3–5,2	0,2–2	1,2–28	18–55
<b>Temperatura maks. °C</b>	110	204	204	300	300
<b>Ciśnienie maks. bar</b>	0,5	16	16	30	30

1) niskie ciśnienie, 2) wysokie ciśnienie





Tab. 32 Kotły parowe

## Odzysk energii cieplnej

Kocioł odzysknicowy HRSB	Kocioł 4-ciągowy z palnikiem	Kocioł 3-ciągowy bez palnika	Odzysk i wykorzystanie
			
Kotły odzysknicowe do wytwarzania pary	Kotły odzysknicowe do wytwarzania pary/ gorącej wody		Ciepło odpadowe

Tab. 33 Odzysk energii cieplnej

## Komponenty

Systemy sterowania kotłami	Woda	Para/kondensat	Zasilanie paliwem
			
Systemy sterowania	Moduły	Moduły	Palenisko

Tab. 34 Komponenty







## 2 Kotły parowe

### 2.1 Kocioł parowy UNIVERSAL CSB

Kocioł o charakterystycznej kompaktowej sylwetce do wytwarzania pary w mniejszym zakresie wydajności. Umożliwia dotrzymanie przyszłych obniżonych limitów emisji i uzyskanie wysokiej efektywności energetycznej. Jest idealnym rozwiązaniem dla zakładów przetwórczych branży spożywczej i napojowej, sektora wytwórczego, szpitali, zakładów świadczących usługi pralnicze i hoteli.



Ryc. 172 Kocioł parowy CSB

#### Dane techniczne kotła typu CBC

<b>Czynnik termodynamiczny</b>	para nasycona o niskim ciśnieniu	para nasycona o wysokim ciśnieniu
<b>Konstrukcja</b>	płomienicowo-płomieniówkowa	
<b>Wydajność w kg/h</b>	300 do 4800	300 do 5200
<b>Maks. dopuszczalne ciśnienie w bar</b>	do 0,5	do 16
<b>Maks. temperatura w °C</b>	110	204
<b>Paliwo</b>	olej, gaz, spalanie wielopaliwowe	



### Wyższa efektywność przy niższych kosztach eksploatacji

Zintegrowany ekonomizer, wykorzystujący zawarte w spalinach ciepło do zmniejszenia zużycia paliwa i obniżenia temperatury spalin, i wielowarstwowa izolacja kompozytowa według innowacyjnej koncepcji Bosch umożliwiają uzyskanie bardzo wysokiej efektywności energetycznej.

- Wysoka sprawność nawet ponad 95,3 % ze zintegrowanym ekonomizerem
- Zredukowane zużycie energii elektrycznej przez wentylator palnika dzięki niewielkiemu oporowi po stronie spalinowej
- Dostosowany do użytkowania w przyszłości: już dzisiaj niskoemisyjny palnik i szeroko zakrojona geometria płomienicy pozwalają obniżyć emisję zanieczyszczeń poniżej przewidzianych w unijnej dyrektywie w sprawie ograniczenia niektórych emisji (MCPD) limitów, które mają zostać osiągnięte do 2025 roku

### Sterowanie zoptymalizowane pod kątem komfortu obsługi

- Zamontowane na kotłach kompaktowe sterowanie CSC z panelem dotykowym
- Alternatywnie sterowanie kotłem BCO oferujące szeroki zakres dodatkowych funkcji, takich jak usługa MEC Remote do zdalnego monitorowania instalacji, możliwość podłączenia do systemu automatyzacji budynku czy inteligentny system MEC Optimize do optymalizacji pracy kotłów przemysłowych

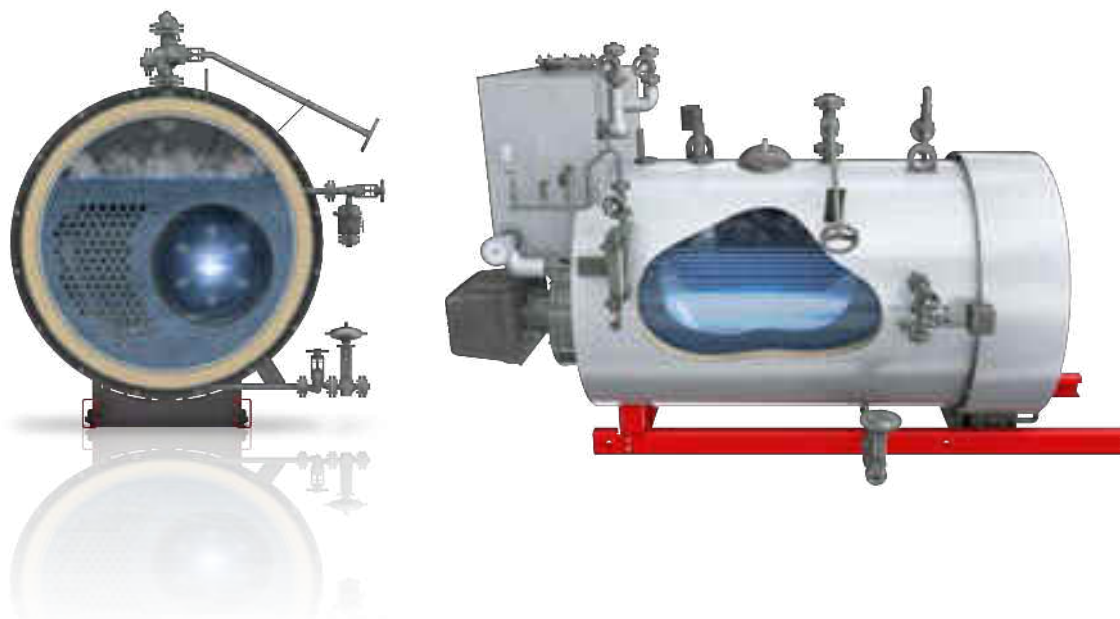
### Niezawodny, wydajny i dopasowany do indywidualnych wymagań użytkownika

Osuszacz pary i obszerna przestrzeń parowa kotła Universal CSB gwarantują wysoką jakość pary dostarczanej do procesów.

- Kocioł oferowany w wariantach nisko- i wysokociśnieniowym
- Do wyboru różnorodne wyposażenie z odpowiednio dopasowanym paleniskiem, odzyskiem ciepła odpadowego, przygotowaniem wody i sterowaniem
- Przystosowany do palników spalających różne paliwa oraz palników wielopaliwowych (olej, gaz, biogaz)
- Odbiór zgodnie z dyrektywą ciśnieniową UE (kotły wysokociśnieniowe), przeznaczony do stosowania na całym świecie z wyposażeniem bezpieczeństwa spełniającym wymogi obowiązujące w poszczególnych krajach

### Szybka instalacja i niewymagająca wysiłku konserwacja

- Rozmiary kotła ułatwiają jego transport i wprowadzenie do pomieszczenia
- Nieskomplikowany rozruch dzięki компактowemu sterowaniu podłączonemu do kotła i wstępnie zmontowanym modułom
- Łatwo odsuwana komora nawrotna usprawnia czyszczenie, konserwację i inspekcję
- Brak zawirów spalin w wymienniku ciepła pozwala na swobodny do niego dostęp



Ryc. 173 Przekrój kotła CSB

### Konstrukcja

Osuszacz pary i obszerna przestrzeń parowa kotła Universal CSB gwarantują wysoką jakość pary dostarczanej do procesów. Wykonanie całego korpusu kotła przez najnowocześniejsze roboty spawalnicze wyróżnia wysoka jakość umożliwiającą uzyskanie dużej wytrzymałości i długiej żywotności kotła.

Rury wymiennika ciepła mają specjalny spiralny kształt, dzięki czemu zdecydowanie polepsza się wymiana ciepła na m<sup>2</sup> powierzchni grzejnej. Takie rozwiązanie pozwala zrezygnować z zawirów w obiegu spalin, co znacznie ułatwia czyszczenie.

Ponadto niewielki opór po stronie spalinowej powoduje spadek zużycia energii elektrycznej przez wentylator palnika.

Możliwość odsunięcia komory nawrotnej kotła stanowi duże udogodnienie przy konserwacjach i inspekcjach. Dzięki systemowi przesuwnemu otwarta w bezpieczny sposób komora nawrotna nie zajmuje wiele miejsca. Wówczas jest również w pełni dostępna cała tylna płyta sitowa.



### Osprzęt do kotłowni

- Wymiennik ciepła spalin ECO
- Moduł chłodzenia wody zasilającej FWM
- Moduł gromadzenia kondensatu CSM
- Moduł przygotowania wody WSM-V, WSM-T
- Moduł przygotowania wody WTM
- Moduł pompowy PM
- Analizator wody WA
- Moduł regulacji wody zasilającej RM
- Moduł rozprężenia i schładzania odsolin i odmulin BEM
- Moduł rozprężenia i odzysku ciepła EHM
- Moduł rozprężenia odsolin i odmulin z odzyskiem ciepła EHB
- Chłodnica oparów VC
- Moduł regulacji gazu GRM
- Moduł dostarczania oleju OSM
- Moduł obiegu oleju OCM
- Moduł regulacji ciśnienia oleju ORM
- Moduł podgrzewania oleju OPM
- Rozdzielacz pary SD
- Moduł akumulacji pary SAM
- Układy regulacji optymalizujące proces spalania
- Kompaktowe sterowanie kotłem parowym CSC
- Sterowanie kotłem BCO
- System zarządzania instalacją SCO
- Mobilny system sterowania MEC Remote
- Inteligentny system optymalizacji pracy kotła MEC Optimize
- Sterowanie dużymi obiektami MEC System



Ryc. 174 Kompaktowe sterowanie CSC

→ Produkty – Rozdział 4: Moduły dla kotłów parowych, strona 343

→ Produkty – Rozdział 5: Moduły do zasilania kotłów, strona 363

### Wyposażenie

UNIVERSAL CSB jest oferowany łącznie z osprzętem\* jako kompletny system kotła. Wyposażenie podstawowe obejmuje część ciśnieniową kotła, układ regulacji i bezpieczeństwa, jednostkę palnikową, skrzynkę z zaciskami oraz zamontowane na kotle kompaktowe sterowanie CSC. Alternatywnie do wyboru sterowanie BCO z możliwością podłączenia do systemu automatyzacji budynku.

Wszystkie czujniki, sterowniki i wyposażenie bezpieczeństwa zgodne z wymogami w tym zakresie obowiązującymi w poszczególnych krajach są połączone przewodami ze zintegrowaną skrzynką z zaciskami. Uformowane wiązki przewodów zakończone kodowanymi złączami ułatwiają podczas instalacji elektryczne połączenie szafy sterowniczej kotła i skrzynki z zaciskami.

\*Wyposażenie jest różnorodne, możliwa konfiguracja zgodnie z życzeniami klienta.



Przegląd  
produktów

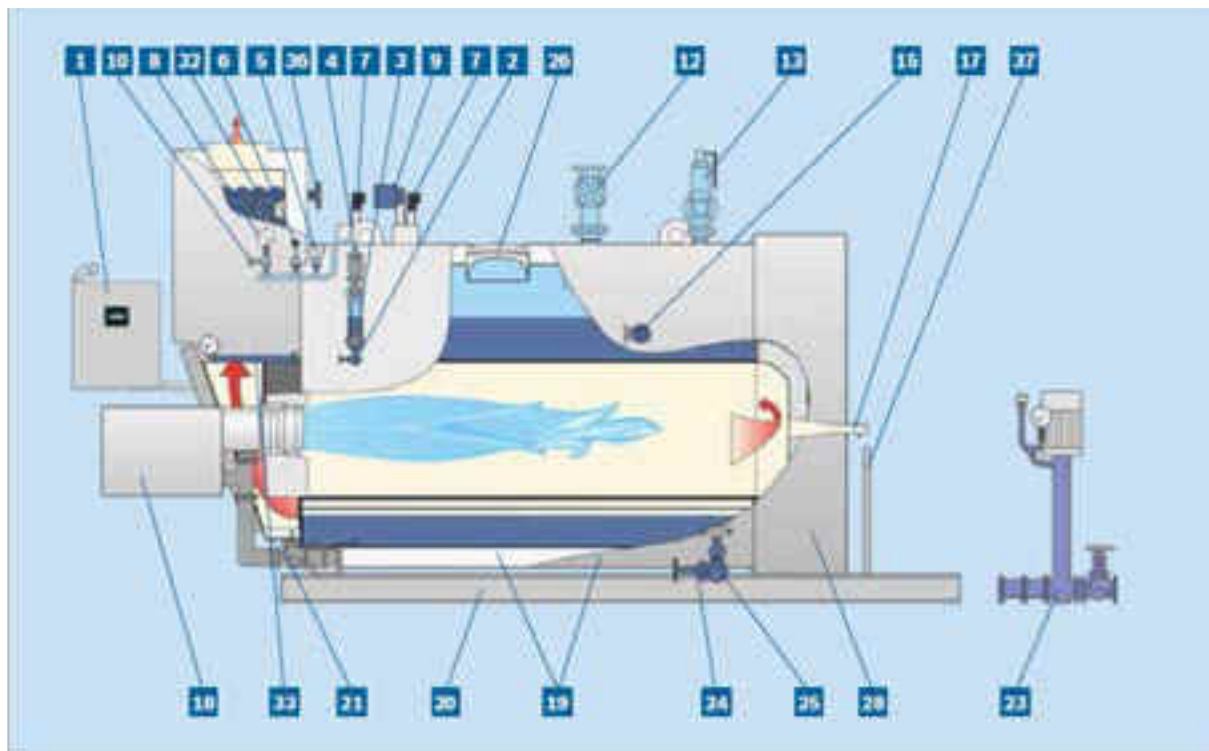
**Kotły parowe**

Odzysk ciepła  
odpadowego

Moduły dla kotłów  
parowych

Moduły do  
zasilania kotłów

Systemy  
sterowania



Ryc. 175 Ilustracja kotła CSB

- |                                                                                                          |                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> Szafka sterownicza zawierająca kompaktowe sterowanie CSC (alternatywnie wariant sterowania BCO) | <b>17</b> Wziernik płomienia                                   |
| <b>2</b> Kurek spustowy                                                                                  | <b>18</b> Palnik                                               |
| <b>3</b> Wodowskaz refleksyjny                                                                           | <b>19</b> Izolacja z warstwą zewn. z blachy aluminiowej        |
| <b>4</b> Zawór odcinający belki manostatycznej, bezobsługowy                                             | <b>20</b> Rama nośna                                           |
| <b>5</b> Ogranicznik ciśnienia                                                                           | <b>21</b> Moduł regulacji gazu                                 |
| <b>6</b> Przetwornik ciśnienia (4-20 mA)                                                                 | <b>23</b> Moduł pompy                                          |
| <b>7</b> Elektroda ograniczenia niskiego poziomu                                                         | <b>24</b> Zawór odcinający spustowy, bezobsługowy              |
| <b>8</b> Manometr                                                                                        | <b>25</b> Szybkozamykająca armatura odmulająca                 |
| <b>9</b> Przetwornik poziomu (4-20 mA)                                                                   | <b>26</b> Otwór rewizyjny, po stronie pary                     |
| <b>10</b> Zawór odcinający manometru z funkcją kontrolną                                                 | <b>28</b> Tylna komora nawrotu spalin, odsuwana w celu rewizji |
| <b>12</b> Zawór poboru pary                                                                              | <b>32</b> Wymiennik ciepła spalin ECO                          |
| <b>13</b> Zawór bezpieczeństwa pełnoskokowy                                                              | <b>33</b> Przewód rurowy łączący ECO z kotłem                  |
| <b>14</b> Przetwornik przewodności (niewidoczny) i odsalanie                                             | <b>36</b> Przyłącze wlotu wody do ECO                          |
| <b>15</b> Zawór zwrotny wody zasilającej                                                                 | <b>37</b> Uchwyt drzwi komory nawrotnej                        |

## 2.2 Kocioł parowy UNIVERSAL U-MB

Nazwa kotła U-MB jest skrótem od „UNIVERSAL Modular Boiler“ (kocioł parowy trójciągowy o konstrukcji modułowej). Kocioł typu U-MB składa się z kilku modułów, które idealnie spełnią każde specyficzne wymagania. Klasycznymi obszarami zastosowania tego kotła są przemysł spożywczy i napojowy, firmy wykonujące usługi prania i czyszczenia oraz drobne zakłady przemysłowe.



Ryc. 176 Instalacja z kotłami U-MB

Dane techniczne	Typ U-MB
<b>Czynnik termodynamiczny</b>	para nasycona o wysokim ciśnieniu
<b>Konstrukcja</b>	3-ciągowa płomienicowo-płomieniówkowa
<b>Wydajność w kg/h</b>	200 do 2000
<b>Maks. dopuszczalne ciśnienie w bar</b>	do 16
<b>Maks. temperatura w °C</b>	204
<b>Paliwo</b>	olej, gaz, spalanie wielopaliwowe





Przegląd produktów

**Kotły parowe**

Odzysk ciepła odpadowego

Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

### Wysoka efektywność przy niższych kosztach eksploatacji

Poszczególne elementy kotła są konfigurowane mając na uwadze na niskie emisje, wysoką jakość pary i optymalną efektywność energetyczną systemu.

- Wysoka sprawność dzięki zastosowaniu zintegrowanego ekonomizera
- Maksymalna efektywność dzięki wykorzystaniu modułów do odzysku ciepła



### Sterowanie zoptymalizowane pod kątem komfortu obsługi

- Panel dotykowy z intuicyjnym menu ze sterowaniem opartym na sterownikach programowalnych
- Identyfikacja jak dla typoszerezu dużych kotłów przemysłowych można zastosować zintegrowaną automatykę, sterowanie za pomocą panelu dotykowego, zdalną obsługę oraz inne wyposażenie pomocnicze kotłów parowych
- Automatyczne sterowanie rozruchem, stanem gotowości i zatrzymaniem SUC

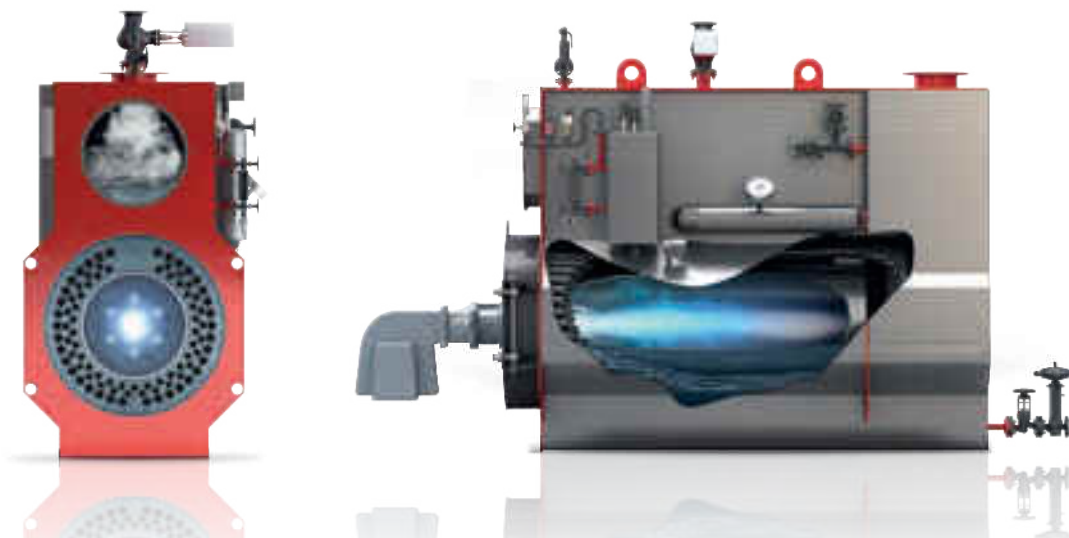
### Niezawodny, wydajny i dopasowany do indywidualnych wymagań użytkownika

Kotły tego typoszeregu (parowe, trójciągowe) można stosować we wszystkich gałęziach przemysłu. Oczwista jest ich pełna integracja i współpraca ze wszystkimi innymi modułami zasilania wody i paliwa, modułami przygotowania i pompowania wody, analizy wody i odzysku ciepła.

- Obszerny zakres podstawowy wyposażenia
- Duża objętość przestrzeni wodnej i technologia 3-ciągowa
- Dzięki kompaktowej budowie kocioł zajmuje mało miejsca
- Dzięki zastosowaniu techniki modułowej z wykorzystaniem elementów konstrukcyjnych i podzespołów innych typoszeregów osiągnęliśmy szczególnie korzystny stosunek ceny do wydajności.

### Szybka instalacja i łatwa konserwacja

- Nieskomplikowana instalacja dzięki dostawie w postaci gotowej jednostki - wyposażenie, palniki i ekonomizer zostały zamontowane już w fabryce
- Kompaktowy korpus kotła pozwala na jego łatwe wprowadzenie do pomieszczeń o niewielkich wymiarach
- Łatwy rozruch dzięki wstępnym ustawieniom fabrycznym układu sterowania kotła
- Proste okablowanie instalacji na miejscu dzięki gotowym złączom z wtyczkami



Ryc. 177 Przekrój kotła U-MB

## Konstrukcja

Kocioł ten oferowany jest jako 3-ciągowy kocioł płomienicowo-płomieniówkowy. Składa się z kilku modułów: części wytwarzającej ciepło o konstrukcji 3-ciągowej, znajdującej się nad nią dużej komory parowej oraz zintegrowanego ekonomizera. Dzięki konstrukcji 3-ciągowej, zrezygnowano z zawirywaczy w płomieniówkach.

Część wytwarzająca ciepło kotła U-MB jest zbudowana w oparciu o wypróbowaną w tysiącach realizacji na przestrzeni wielu dziesiątek lat konstrukcję kotła UNIMAT. Obszerna geometria płomienicy gwarantuje wydajny proces spalania i wysoką efektywność energetyczną urządzenia.

Konstrukcja części parowej wpływa w znacznym stopniu na jakość wytwarzanej pary. Duża objętość przestrzeni parowej korzystnie rzutuje na resztkową wilgotność pary.

Zastosowanie zintegrowanego ekonomizera ma ścisły związek z efektywnością energetyczną urządzenia. Ciepło zawarte w spalinach jest wykorzystywane do podgrzewania wody zasilającej kocioł. Dzięki temu rozwiązaniu ciepło spalin w większości jest odzyskiwane, przez co zmniejszają się zużycie paliwa i emisja spalin.

Kocioł ten posiada certyfikat badania typu i jest wytwarzany jest zgodnie certyfikowanym systemem kontroli jakości (Moduł D) Dyrektywy Ciśnieniowej.



Przegląd produktów

**Kotły parowe**

Odzysk ciepła odpadowego

Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

**Powiązany osprzęt w kotłowni**

- Moduł uzdatniania wody WTM
- Moduł przygotowania wody WSM
- Moduł gromadzenia kondensatu CSM
- Moduł rozprężenia i schładzania odsolin i odmulin BEM
- Moduł rozprężenia i odzysku ciepła EHM
- Moduł rozprężenia odsolin i odmulin z odzyskiem ciepła EHB
- Moduł pompowy PM
- Moduł regulacji gazu GRM
- Moduł cyrkulacji oleju OCM
- Moduł dostarczania oleju OSM
- System zarządzania instalacją SCO
- Kolektor pary SD



Ryc. 178 Moduł przygotowania wody WSM

→ Produkty – Rozdział 4: Moduły dla kotłów parowych, strona 343

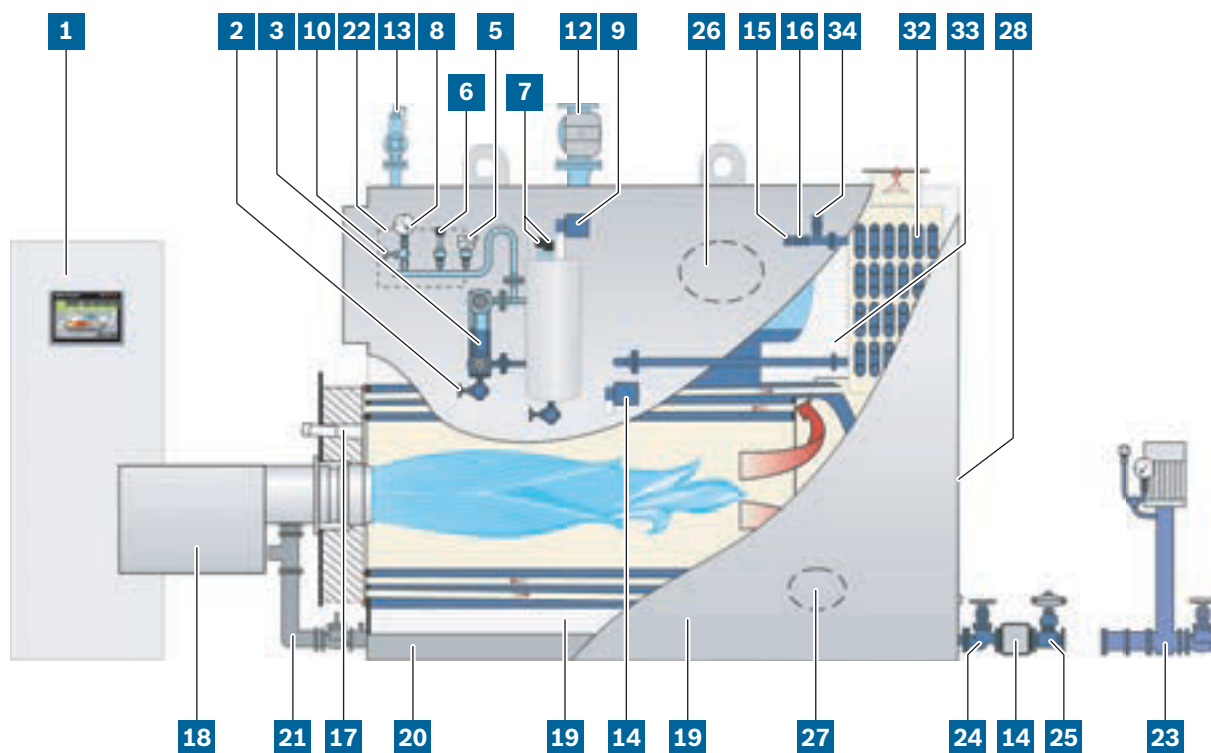
→ Produkty – Rozdział 5: Moduły do zasilania kotłów, strona 363

**Wyposażenie**

Kotły parowe UNIVERSAL U-MB są oferowane łącznie z osprzętem\* jako w kompletne i gotowe do pracy jednostki. Zakres podstawowy wyposażenia obejmuje część ciśnieniową kotła, układ regulacji i osprzęt bezpieczeństwa, jednostkę palnikową, moduł pomp, skrzynkę z zaciskami oraz szafę sterowniczą zawierającą wygodne w użyciu sterowanie kotłem BCO. Wszystkie czujniki, sterowniki i osprzęt bezpieczeństwa są połączone kablami ze zintegrowaną skrzynką z zaciskami.

Uformowane wiązki przewodów zakończone kodowanymi wtyczkami ułatwiają podczas instalacji elektryczne połączenie szafy sterowniczej kotła i skrzynki z zaciskami. Szafę sterowniczą, stojącą lub naścienną, można optymalnie dopasować do warunków na miejscu montażu..

\*Wyposażenie jest różnorodne, możliwa konfiguracja zgodnie z życzeniami klienta.



Ryc. 179 Ilustracja kotła U-MB

- |                                                              |                                                         |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>1</b> Szafa sterownicza zawierająca sterowanie kotłem BCO | <b>18</b> Palnik                                        |
| <b>2</b> Kurek spustowy wodowskazu                           | <b>19</b> Izolacja z warstwą zewn. z blachy aluminiowej |
| <b>3</b> Wodowskaz refleksyjny                               | <b>20</b> Rama nośna                                    |
| <b>5</b> Ogranicznik ciśnienia                               | <b>21</b> Moduł regulacji gazu                          |
| <b>6</b> Przetwornik ciśnienia (4-20 mA)                     | <b>22</b> Skrzynka z zaciskami                          |
| <b>7</b> Elektroda ograniczenia niskiego poziomu             | <b>23</b> Moduł pompowy                                 |
| <b>8</b> Manometr                                            | <b>24</b> Zawór odcinający spustowy, bezobsługowy       |
| <b>9</b> Przetwornik poziomu (4-20 mA)                       | <b>25</b> Szybkozamykający zawór odmulający             |
| <b>10</b> Zawór odcinający manometr z funkcją kontrolną      | <b>26</b> Otwór rewizyjny, po stronie pary              |
| <b>12</b> Zawór poboru pary                                  | <b>27</b> Otwór rewizyjny, po stronie wody              |
| <b>13</b> Zawór bezpieczeństwa pełnoskokowy                  | <b>28</b> Otwór rewizyjny, po stronie spalin            |
| <b>14</b> Automatyczny pomiar przewodności i odsalanie       | <b>32</b> Spalinowy wymiennik ciepła                    |
| <b>15</b> Zawór zwrotny wody zasilającej                     | <b>33</b> Rura łącząca ECO z kotłem                     |
| <b>16</b> Zawór odcinający wody zasilającej, bezobsługowy    | <b>34</b> Zawór odcinający na odpowietrzeniu ECO        |
| <b>17</b> Wziernik do obserwacji płomienia                   |                                                         |



## 2.3 Kotły parowe UNIVERSAL UL-S/UL-SX

Kocioł typu UNIVERSAL UL-S jest 3-ciągowym kotłem płomienicowo-płomieniówkowym spełniającym wszelkie wymagania w zakresie średnich i większych mocy. Klasycznymi obszarami zastosowania kotłów tego typu są zakłady przetwórcze, przemysłowe i obiekty komunalne.



Ryc. 180 Kocioł typu U-LS/UL-SX

Dane techniczne	Typ UL-S	Typ UL-SX
<b>Czynnik termodynamiczny</b>	para nasycona o wysokim ciśnieniu	para przegrzana o wysokim ciśnieniu
<b>Konstrukcja</b>	3-ciągowa płomienicowo-płomieniówkowa	3-ciągowa płomienicowo-płomieniówkowa
<b>Wydajność w kg/h</b>	1250 do 28 000	2600 do 28 000
<b>Maks. dopuszczalne ciśnienie w bar</b>	do 30	do 30
<b>Maks. temperatura w °C</b>	235	300
<b>Paliwo</b>	olej, gaz, spalanie wielopaliwowe	olej, gaz, spalanie wielopaliwowe

### Wyższa efektywność przy niższych kosztach eksploatacji

W spalinach emitowanych przez kotły parowe jest zawarty znaczny potencjał ciepła odpadowego o wysokiej temperaturze. W celu zwiększenia efektywności kotły te są również oferowane ze zintegrowanym ekonomizerem do odzysku ciepła ze spalin. Przy kotłach tego typu rekomendowane jest zastosowanie dodatkowych modułów do stałej regulacji zasilania kotła wodą, wentylatora palnika z regulowaną prędkością obrotową oraz regulacji stężeń  $O_2$  i CO w spalinach, aby umożliwić jeszcze wydajniejszą i bardziej przyjazną środowisku eksploatację.

- Wysoka wydajność dzięki technice trójciągowej, zastosowaniu zintegrowanego ekonomizera i najwyższej jakości materiałów izolacyjnych
- Możliwa obniżenie temperatury spalin do 50 °C przy wykorzystaniu techniki kondensacyjnej
- Kocioł można wyposażyć w oddzielny czwarty ciąg w celu wykorzystania ciepła odpadowego (np. ze spalin wylotowych z modułu kogeneracyjnego)
- Spalanie niskoemisyjne do poniżej 50 mg  $NO_x$  dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologicznie systemów spalania i optymalnemu doborowi palnika do kotła

### Sterowanie zoptymalizowane pod kątem komfortu obsługi

- Intuicyjne sterowanie kotłem oparte na sterowniku programowalnym z najwyższą przejrzystością danych procesowych
- Automatyczne sterowanie rozruchem, stanem gotowości i zatrzymaniem SUC
- Przygotowanie do połączenia ze zdalnym systemem sterowania instalacją MEC Remote

### Niezawodny, wydajny i dopasowany do indywidualnych wymagań użytkownika

W cylindrycznym, poziomym korpusie kotła są umieszczone płomienica, tylna, chłodzona wodą komora nawrotna spalin oraz pierwszy i drugi ciąg płomieniówek w sposób zapewniający optymalny przepływ energii cieplnej. Radiacyjna i konwekcyjna powierzchnia wymiany ciepła wspólnie wywołują intensywną cyrkulację wody w kotle. Cyrkulacja z kolei doskonale przyspiesza przechodzenie pęcherzy pary do przestrzeni parowej. Dzięki równomiernemu przenoszeniu ciepła energia cieplna ze spalania paliwa zmienia się szybko w parę bez powodowania dodatkowych naprężeń termicznych.

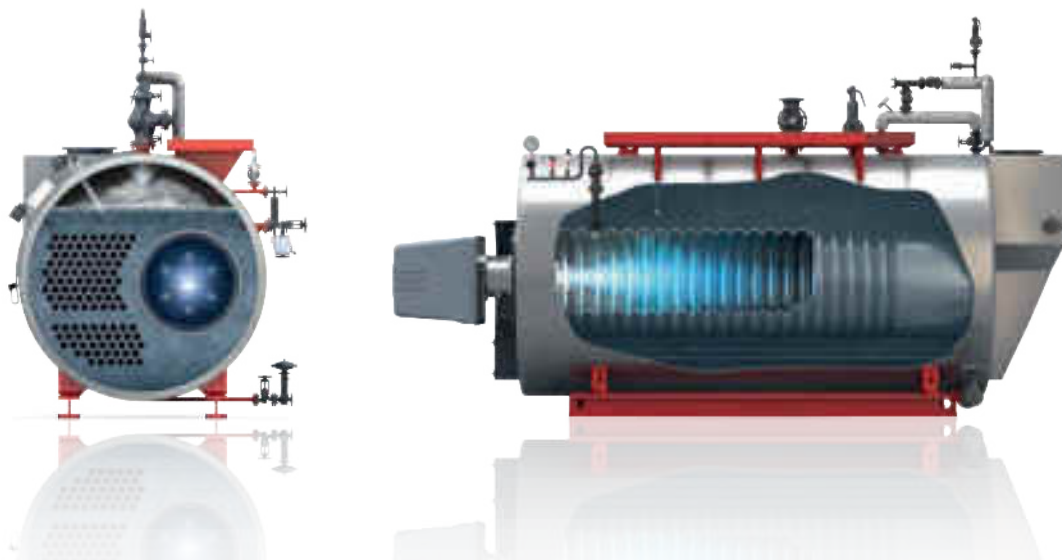
- Wysoka stabilność ciśnienia i jakość pary również przy zmiennym zapotrzebowaniu pary dzięki wysokiej przestrzeni parowej i regulacji trzyskładnikowej
- Asymetryczne rozmieszczenie płomienicy i ciągów płomieniówek zapewnia dużą powierzchnię formowania pęcherzy parowych
- Przystosowany do prawie wszystkich systemów palnikowych
- Korpus kotła można wykorzystać także jako kocioł czysto odzysknicowy (bez palnika) zamontowany na przewodzie spalinowym za modułem kogeneracyjnym lub turbiną gazową
- Konstrukcja wypróbowana w praktyce tysiące razy – trwała i niezawodna





### Szybka instalacja i łatwa konserwacja

- Łatwy rozruch dzięki zmontowanym modułom i wstępnym ustawieniom fabrycznym układu sterowania kotła
- Możliwość łatwej rozbudowy i modernizacji poprzez integrację gotowych modułów
- Nieskomplikowane okablowanie na miejscu instalacji dzięki gotowym złączom z wtyczkami
- Łatwa konserwacja – z wygodnym dostępem zarówno od strony spalin jak i od strony wody



Ryc. 181 Przekrój kotła UL-S/UL-SX

### Konstrukcja

Opatentowana przez nas w roku 1952 konstrukcja trójciągowego kotła parowego stanowi podstawę naszego niekwestionowanego, utrzymującego się do dziś sukcesu tego typoszeregu kotłów. Umieszczona asymetrycznie pozioma płomienica stanowi pierwszy ciąg przepływu spalin, a dwa ulokowane obok niej pęczki płomieniówek tworzą ciąg drugi i trzeci. Płomienica i płomieniówki są połączone ze sobą tylną, chłodzoną wodą komorą nawrotną, tworząc idealnie zespoloną część ciśnieniową kotła. Dzięki asymetrycznemu położeniu płomienicy, poziomemu nawrotowi spalin w tylnej części kotła i pionowemu nawrotowi w części przedniej osiągnęliśmy dużą powierzchnię ogrzewalną z obszerną przestrzenią parową, co jest szczególną zaletą w sytuacji dynamicznie zmieniającego się zapotrzebowania na parę, przy zminimalizowanych gabarytach kotła. Dennice są stabilnie zespolone z dużą płomienicą i za pomocą przemysłowych, zapewniających równomierny rozkład obciążeń kotew kątowych połączone z płaszczem kotła. W przeciwieństwie do przestarzałych konstrukcji ze szpilkami takie rozwiązanie wykazuje się większą wytrzymałością i trwałością - także w warunkach dynamicznych obciążeń.

### Powiązany osprzęt w kotłowni

- Moduł uzdatniania wody WTM
- Moduł przygotowania wody WSM
- Moduł gromadzenia kondensatu CSM
- Moduł rozprężenia i schładzania odsolin i odmulin BEM
- Analizator wody WA
- Spalinowy wymiennik ciepła ECO 1 do osobnego montażu (ECO1-SA)
- Spalinowe wymienniki ciepła ECO 6 do wykorzystania techniki kondensacyjnej
- Moduł rozprężenia i odzysku ciepła EHM
- Moduł pompowy PM
- Moduł rozprężenia odsolin i odmulin z odzyskiem ciepła EHB
- Chłodnica oparów VC
- Moduł regulacji gazu GRM
- Moduł cyrkulacji oleju OCM
- Moduł dostarczania oleju OSM
- Moduł podgrzewania oleju OPM
- System zarządzania instalacją SCO
- Moduł chłodzenia wody zasilającej FWM
- Układ podgrzewania powietrza APH
- Przegrzewacz
- Kolektor pary SD



Ryc. 182 Rozdzielacz pary SD

→ Produkty – Rozdział 4: Moduły dla kotłów parowych, strona 343

→ Produkty – Rozdział 5: Moduły do zasilania kotłów, strona 363

### Wyposażenie

Kotły parowe UNIVERSAL UL-S/UL-SX są oferowane łącznie z osprzętem\* jako kompletne i gotowe do pracy jednostki. Zakres podstawowy wyposażenia obejmuje część ciśnieniową kotła, układ regulacji, osprzęt bezpieczeństwa, jednostkę palnikową, moduł pompowy, skrzynkę z zaciskami oraz szafę sterowniczą zawierającą wygodne w użyciu sterowanie kotłem BCO. Kotły typu UL-S o wydajności do 4000 kg/h mogą być alternatywnie wyposażone w tańszy wariant sterowania CSC. Wszystkie czujniki, sterowniki i osprzęt bezpieczeństwa są połączone przewodami ze zintegrowaną skrzynką z zaciskami. Uformowane wiązki przewodów zakończone kodowanymi wtyczkami ułatwiają podczas instalacji elektryczne połączenie szafy sterowniczej kotła i skrzynki z zaciskami. Szafę sterowniczą, stojącą lub naścienną, można optymalnie dopasować do warunków na miejscu montażu.

\*Wyposażenie jest różnorodne, możliwa konfiguracja zgodnie z życzeniami klienta.



Przegląd produktów

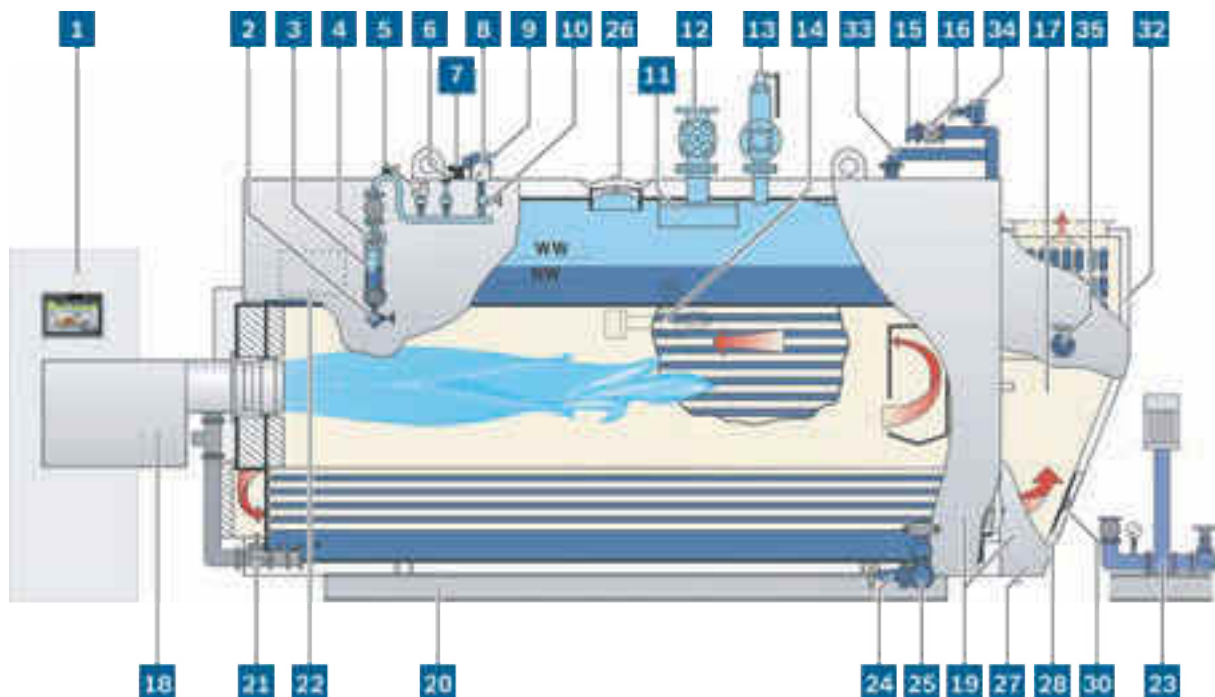
**Kotły parowe**

Odzysk ciepła odpadowego

Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania



Ryc. 183 Ilustracja kotła UL-S/UL-SX

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> Szafa sterownicza zawierająca sterowanie kotłem BCO (alternatywnie wariant sterowania CSC dla kotłów o wydajności do 4000 kg/h)</p> <p><b>2</b> Kurek spustowy wodowskazu</p> <p><b>3</b> Wodowskaz refleksyjny</p> <p><b>4</b> Zawór odcinający belki manostatycznej, bezobsługowy</p> <p><b>5</b> Ogranicznik ciśnienia</p> <p><b>6</b> Przetwornik ciśnienia (4-20 mA)</p> <p><b>7</b> Elektroda ograniczenia niskiego poziomu</p> <p><b>8</b> Manometr</p> <p><b>9</b> Przetwornik poziomu (4-20 mA)</p> <p><b>10</b> Zawór odcinający manometr z funkcją kontrolną</p> <p><b>11</b> Osuszacz pary</p> <p><b>12</b> Zawór poboru pary</p> <p><b>13</b> Zawór bezpieczeństwa pełnoskokowy</p> <p><b>14</b> Automatyczny pomiar przewodności i odsalanie</p> <p><b>15</b> Zawór zwrotny wody zasilającej</p> <p><b>16</b> Zawór odcinający wodę zasilającą, bezobsługowy</p> | <p><b>17</b> Wziernik do obserwacji płomienia</p> <p><b>18</b> Palnik</p> <p><b>19</b> Izolacja z warstwą zewn. z blachy aluminiowej</p> <p><b>20</b> Rama nośna</p> <p><b>21</b> Moduł regulacji gazu</p> <p><b>22</b> Skrzynka z zaciskami</p> <p><b>23</b> Moduł pompy</p> <p><b>24</b> Zawór odcinający spustowy, bezobsługowy</p> <p><b>25</b> Szybkozamykający zawór odmulający</p> <p><b>26</b> Otwór rewizyjny, po stronie pary</p> <p><b>27</b> Otwór rewizyjny, po stronie wody</p> <p><b>28</b> Otwór rewizyjny, po stronie spalin</p> <p><b>30</b> Tylna komora zbiorcza spalin</p> <p><b>32</b> Wymiennik ciepła ze spalin ECO</p> <p><b>33</b> Rura łącząca ECO z kotłem</p> <p><b>34</b> Zawór odcinający odpowietrzający ECO</p> <p><b>35</b> Zawór odcinający spustowy ECO (opróżnienie)</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 2.4 Kotły parowe UNIVERSAL ZFR/ZFR-X

Kocioł parowy UNIVERSAL ZFR jest trójciągowym kotłem płomienicowo-płomieniówkowym z dwiema płomienicami i całkowicie rozdzielonymi ciągami spalinowymi. Kocioł ten znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie potrzebne jest niezawodne zasilanie w parę i ciepło w zakresie dużych mocy. Typowymi obszarami zastosowania tych kotłów są zakłady przemysłowe, zakłady energetyczne i ciepłownicze oraz obiekty komunalne.



Ryc. 184 Instalacja z kotłami parowymi ZFR/ZFR-X

Dane techniczne	Typ ZFR	Typ ZFR-X
<b>Czynnik termodynamiczny</b>	para nasycona o wysokim ciśnieniu	para przegrzana o wysokim ciśnieniu
<b>Konstrukcja</b>	3-ciągowa płomienicowo-płomieniówkowa z dwiema płomienicami	3-ciągowa płomienicowo-płomieniówkowa z dwiema płomienicami
<b>Wydajność w kg/h</b>	18 000 do 55 000	18 000 do 55 000
<b>Maks. dopuszczalne ciśnienie w bar</b>	do 30	do 30
<b>Maks. temperatura w °C</b>	235	300
<b>Paliwo</b>	olej, gaz, spalanie wielopaliwowe	olej, gaz, spalanie wielopaliwowe



Przegląd produktów

**Kotły parowe**

Odzysk ciepła odpadowego

Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

**Wyższa efektywność przy niższych kosztach eksploatacji**

Dla zapewnienia „nieograniczonej” pracy z jednym lub dwoma palnikami kotłów parowych UNIVERSAL ZFR obligatoryjne jest wyposażenie ich w modulowaną regulację mocy oraz ciągłą regulację zasilania wodą. Oferujemy dodatkowe systemy oszczędności energii i poprawy dynamiki pracy, np. wentylator palnika z regulowaną prędkością obrotową i regulację procesu spalania przy użyciu sondy do pomiaru stężenia O<sub>2</sub> i CO.

- Wysoka sprawność dzięki technice trójciągowej i zintegrowanemu ekonomizerowi
- Wydajne materiały izolacyjne
- Spalanie niskoemisyjne dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologicznie systemów spalania i idealnemu dopasowaniu palników do kotłów oraz optymalnej geometrii płomienicy

**Sterowanie zoptymalizowane pod kątem komfortu obsługi**

- Intuicyjne sterowanie kotłem oparte na sterowniku programowalnym z najwyższą przejrzystością danych procesowych
- Automatyczne sterowanie rozruchem, stanem gotowości i zatrzymaniem SUC
- Przygotowanie do połączenia z mobilnym systemem sterowania instalacją MEC Remote

**Niezawodny, wydajny i dopasowany do indywidualnych wymagań użytkownika**

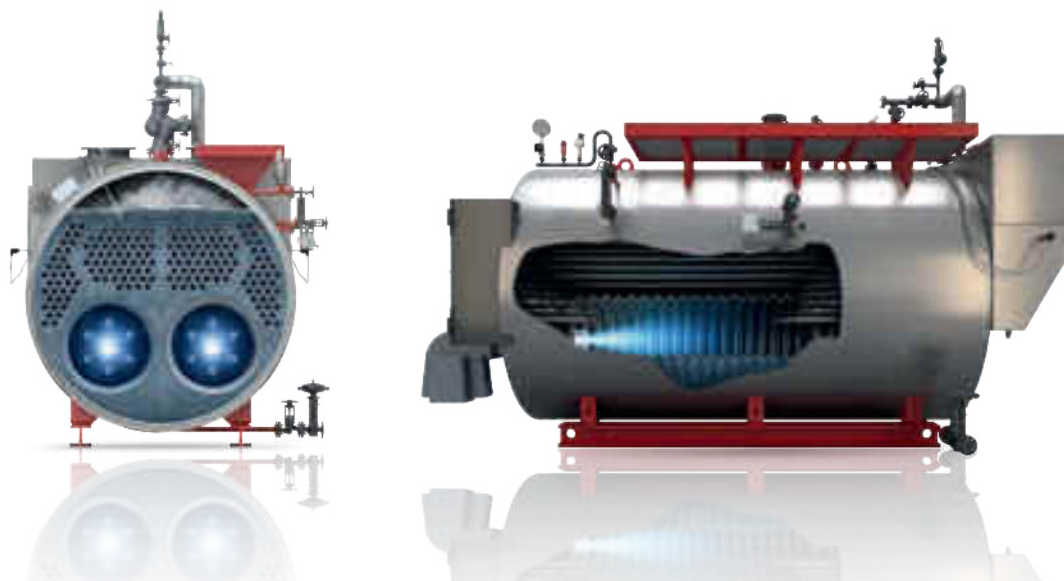
Budowa przemysłowego kotła płomienicowo-płomieniówkowego z dwiema płomienicami i rozdzielonymi ciągami spalinowymi umożliwia nieograniczoną pracę kotła również z jednym paleniskiem. System trójciągowy przepływu spalin, z tylną komorą nawrotną spalin chłodzoną wodą, oparty jest na patencie pochodzącym z 1952 roku. Konstrukcja kotła pozwala w łatwy sposób umieścić w nim dodatkowe moduły: ekonomizera i przegrzewacza pary. Wymiary obu płomienic, pęczków płomieniówek, przestrzeni wodnej i parowej zostały termodynamicznie zoptymalizowane. Poprawna cyrkulacja wody i równomierny rozkład strumienia ciepła doprowadzonego z paliwem zapewniają szybkie wytwarzanie pary, bez powodowania dodatkowych naprężeń termicznych w materiale.

- Wysoka stabilność ciśnienia i jakość pary również przy zmiennym zapotrzebowaniu na parę
- Szeroki zakres regulacji obciążeń dzięki możliwości nieograniczonej pracy kotła z jedną płomienicą
- Przystosowany do wszystkich typów palników
- Certyfikacja zgodnie z dyrektywą ciśnieniową PED – przeznaczony do stosowania na całym świecie
- Konstrukcja wypróbowana w praktyce tysiące razy – trwała i niezawodna

**Szybka instalacja i łatwa konserwacja**

- Łatwe uruchomienie dzięki zmontowanym modułom i wstępnym ustawieniom fabrycznym układu sterowania kotła
- Możliwość łatwej rozbudowy i modernizacji poprzez integrację gotowych modułów
- Nieskomplikowane okablowanie na miejscu instalacji dzięki gotowym złączom z wtyczkami
- Przyjazny w konserwacji i eksploatacji – możliwa inspekcje zarówno od strony spalin jak i wody





Ryc. 185 Przekrój kotła ZFR/ZFR-X

### Konstrukcja

Możliwość nieograniczonej pracy dwóch systemów paleniskowych, zarówno w trybie pracy równoległej jak i indywidualnej, nie zależy jedynie od ich rozdzielenia po stronie spalinowej. Na stabilność kotła decydujący wpływ ma jego specjalna konstrukcja, która eliminuje bądź ogranicza siły i naprężenia powstające przy pracy na jednej płomienicy. Płomienice połączone są specjalnym pierścieniem i na stałe przyspawane do przedniej i tylnej dennicy. W przeciwieństwie do konstrukcji kotłów ze szpilkami mocującymi to rozwiązanie pozwala uniknąć niedopuszczalnych wyboczeń. Zintegrowana tylna komora nawrotna spalin jest chłodzona wodą, co pozwala na zredukowanie obciążeń mechanicznych. Cyrkulacja wody i transfer ciepła w przestrzeniach pomiędzy płomienicami i pęczkami płomieniówek wspomagany jest przez profilowane kierownice umieszczone na dnie kotła. Intensywna cyrkulacja wody i równomierny rozkład ciepła spalania zapewnia efektywnie szybkie wytwarzanie pary.

Dzięki możliwości autonomicznej pracy z jedną płomienicą możliwa jest automatyczna eksploatacja kotła z wykorzystaniem jednego lub obu palników. Nawet różne rodzaje paliw obu palenisk nie stanowią problemu. Zakres regulacji ulega podwojeniu, a praca kotła na małym obciążeniu, z jednym pracującym palnikiem przynosi wzrost sprawności kotła.

→ Raport Branżowy FB003: Kotły dwupłomienicowe





Przeгляд produktów

**Kotły parowe**

Odzysk ciepła odpadowego

Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

### Powiązany osprzęt w kotłowni

- Moduł uzdatniania wody WTM
- Moduł przygotowania wody WSM
- Moduł gromadzenia kondensatu CSM
- Moduł rozprężenia i schładzania odsolin i odmulin BEM
- Moduł pompowy PM
- Moduł rozprężenia odsolin i odmulin z odzyskiem ciepła EHB
- Chłodnica oparów VC
- Analizator wody WA
- Moduł rozprężenia i odzysku ciepła EHM
- Moduł regulacji gazu GRM
- Moduł cyrkulacji oleju OCM
- Moduł dostarczania oleju OSM
- Moduł podgrzewania oleju OPM
- System zarządzania instalacją SCO
- Spalinowy wymiennik ciepła do osobnego montażu (ECO1-SA)
- Spalinowe wymienniki ciepła ECO 6 do wykorzystania techniki kondensacyjnej
- Układ podgrzewania powietrza APH
- Przegrzewacz
- Kolektor pary SD



Ryc. 186 Wymiennik ciepła kondensacyjny ECO 6

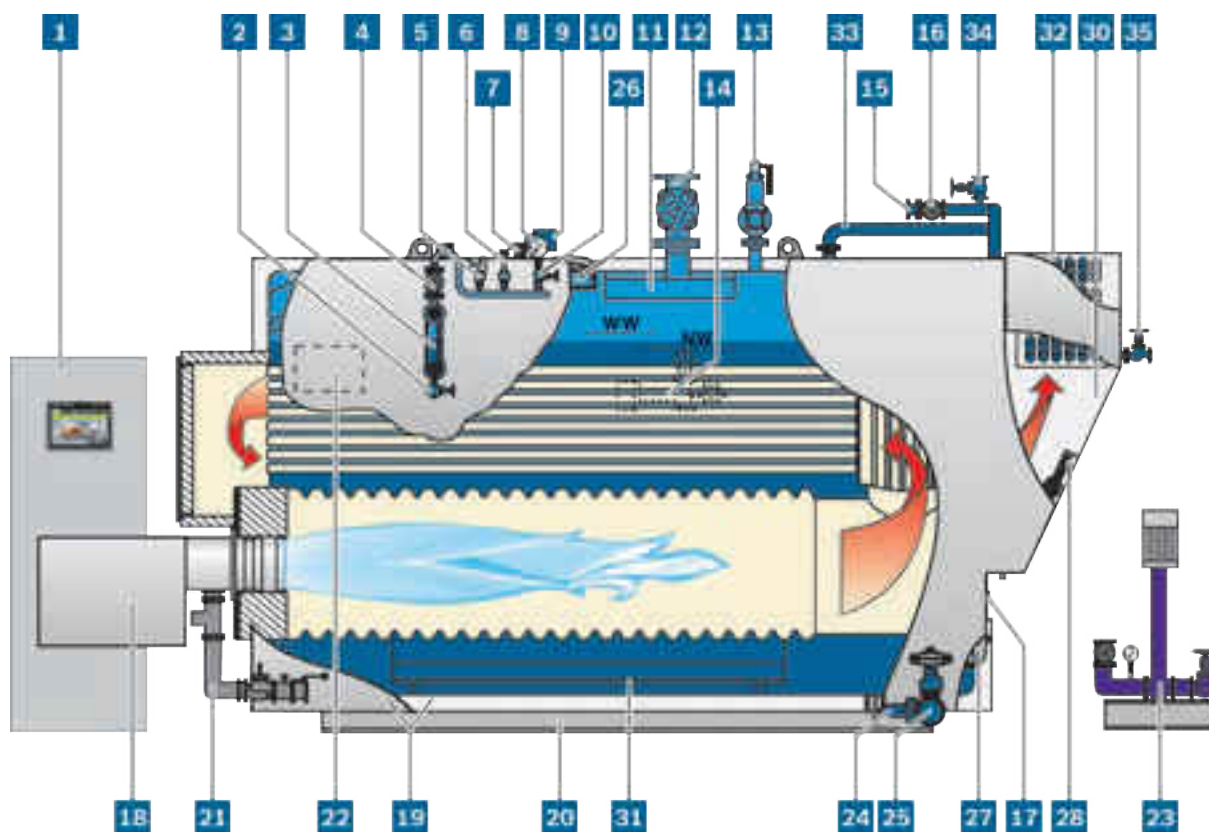
→ Produkty – Rozdział 4: Moduły dla kotłów parowych, Strona 343

→ Produkty – Rozdział 5: Moduły do zasilania kotłów, Strona 363

### Wyposażenie

Kotły parowe UNIVERSAL ZFR/ZFR-X są oferowane łącznie z osprzętem\* jako kompletne i gotowe do pracy jednostki. Zakres podstawowy wyposażenia obejmuje część ciśnieniową kotła, układ regulacji i bezpieczeństwa, jednostkę palnikową, moduł pompowy, skrzynkę z zaciskami oraz szafę sterowniczą zawierającą wygodne w użyciu sterowanie kotłem BCO. Wszystkie czujniki, sterowniki i wyposażenie bezpieczeństwa są połączone przewodami ze zintegrowaną skrzynką z zaciskami. Uformowane wiązki przewodów zakończone kodowanymi złączami ułatwiają podczas instalacji elektryczne połączenie szafy sterowniczej kotła i skrzynki z zaciskami. Szafę sterowniczą, stojącą lub ścienną, można optymalnie dopasować do warunków na miejscu montażu.

\*Wyposażenie jest różnorodne, możliwa konfiguracja zgodnie z życzeniami klienta.



Ryc. 187 Ilustracja kotła ZFR/ZFR-X

- |                                                              |                                                           |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>1</b> Szafa sterownicza zawierająca sterowanie kotłem BCO | <b>18</b> Palnik                                          |
| <b>2</b> Kurek spustowy wodowskazu                           | <b>19</b> Izolacja z warstwą zewn. z blachy aluminiowej   |
| <b>3</b> Wodowskaz refleksyjny                               | <b>20</b> Rama nośna                                      |
| <b>4</b> Zawór odcinający belki manostatycznej, bezobsługowy | <b>21</b> Moduł regulacji gazu                            |
| <b>5</b> Ogranicznik ciśnienia                               | <b>22</b> Skrzynka z zaciskami                            |
| <b>6</b> Przetwornik ciśnienia (4-20 mA)                     | <b>23</b> Moduł pompy                                     |
| <b>7</b> Elektroda ograniczenia niskiego poziomu             | <b>24</b> Zawór odcinający spustowy, bezobsługowy         |
| <b>8</b> Manometr                                            | <b>25</b> Szybkozamykający zawór odmulający               |
| <b>9</b> Przetwornik poziomu (4-20 mA)                       | <b>26</b> Otwór rewizyjny, po stronie pary                |
| <b>10</b> Zawór odcinający manometr z funkcją kontrolną      | <b>27</b> Otwór rewizyjny, po stronie wody                |
| <b>11</b> Osuszacz pary                                      | <b>28</b> Otwór rewizyjny, po stronie spalin              |
| <b>12</b> Zawór poboru pary                                  | <b>30</b> Tylna zbiorcza komora spalin                    |
| <b>13</b> Zawór bezpieczeństwa pełnoskokowy                  | <b>31</b> Profil. kierownice wspomagające cyrkulację wody |
| <b>14</b> Automatyczny pomiar przewodności i odsalanie       | <b>32</b> Spalinowy wymiennik ciepła ECO                  |
| <b>15</b> Zawór zwrotny wody zasilającej                     | <b>33</b> Rura łącząca ECO z kotłem                       |
| <b>16</b> Zawór odcinający wodę zasilającą, bezobsługowy     | <b>34</b> Zawór odcinający odpowietrzający ECO            |
| <b>17</b> Wziernik do obserwacji płomienia                   | <b>35</b> Zawór odcinający spustowy ECO (opróżnienie)     |



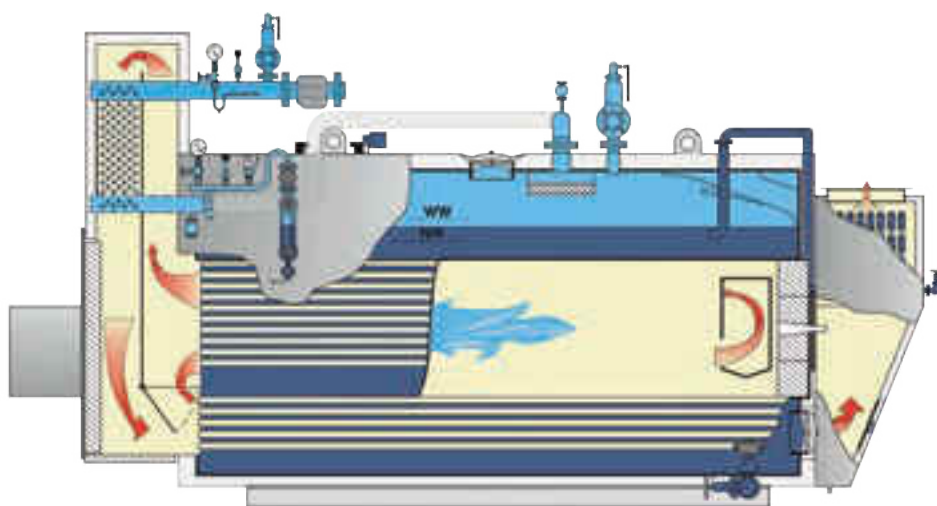
## 2.5 Moduł przegrzewacza

Kocioł jedno- lub dwupłomienicowy z przegrzewaczem do wytwarzania pary przegrzanej.

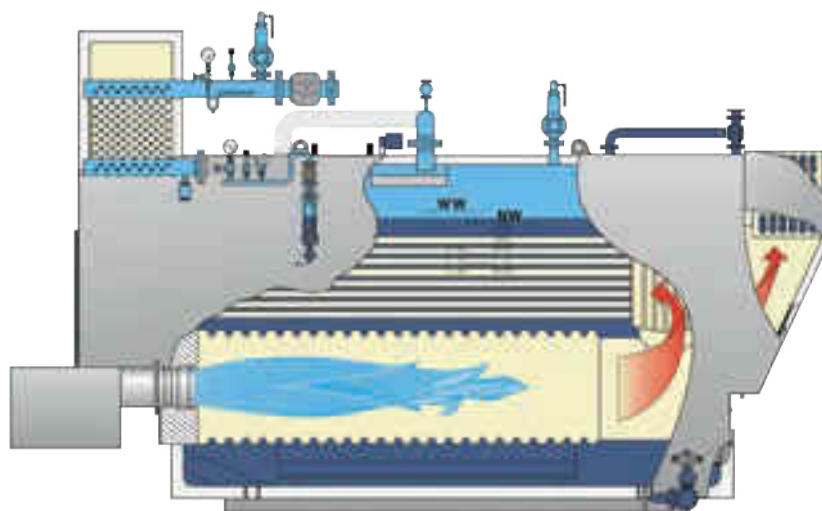
Jeśli zamiast pary nasyconej potrzebna jest para przegrzana można na przedniej komorze nawrotu spalin zamontować moduł przegrzewacza. Za pomocą przepustnicy umieszczonej w kanale obejściowym jest regulowana temperatura pary na stałym poziomie, w szerokim zakresie obciążeń. Dostęp do węzownic przegrzewacza zapewniony jest poprzez drzwi w przedniej komorze nawrotnej.

- Modułowy system regulacji od strony spalin – do regulacji temperatury pary przegrzanej nie potrzebny jest dodatkowy system wtrysku wody
- Łatwa konserwacja i montaż – prosty sposób czyszczenia drugiego i trzeciego ciągu kotła
- Długa żywotność dzięki niskim termicznym obciążeniom pęczka wymiennika ciepła przegrzewacza

→ Raport Branżowy FB020: Kotły parowe z modułem przegrzewacza



Ryc. 188 Przekrój kotła UL-SX



Ryc. 189 Przekrój kotła ZFR-X



Ryc. 190 Kocioł dwupłomienicowy z modułem przegrzewacza





## 3 Kotły odzysknicowe i odzysk ciepła odpadowego

### 3.1 Kocioł parowy odzysknicowy UNIVERSAL HRSB

Kocioł odzysknicowy wykorzystuje ciepło odpadowe (spaliny) do wytwarzania pary dla celów technologicznych



Ryc. 191 Kocioł parowy odzysknicowy UNIVERSAL HRSB

Dane techniczne	Typ HRSB
Czynnik termodynamiczny	para nasycona o wysokim ciśnieniu
Konstrukcja	kocioł odzysknicowy płomienicowo-płomieniówkowy
Wydajność w kg/h	400 do 4100
Maks. dopuszczalne ciśnienie w bar	10 do 16
Maks. temperatura spalin od źródła ciepła odpadowego w °C	550
Min. ilości spalin od źródła ciepła odpadowego w kg/h	500
Maks. ilości spalin od źródła ciepła odpadowego w kg/h	23 500
Paliwo spalane przez źródło ciepła odpadowego	gaz ziemny (inne rodzaje spalin na zapytanie)
Zakres mocy podłączalnych modułów kogeneracyjnych w Mweł	ok. 0,5 do 4

Zastosowany w połączeniu z modułem kogeneracyjnym parowy kocioł odzyskowy HRSB może odgrywać znaczącą rolę w strategii efektywnego wykorzystania energii pierwotnej. Gorące spaliny z wcześniejszego procesu spalania są wprowadzane do kotła odzysknicowego i używane do celu produkcji pary dla celów technologicznych. Z uwagi na budowę modułową i kompaktowe wymiary kocioł taki jest idealnym wyborem zarówno dla nowobudowanych kotłowni jak i projektów modernizacyjnych.

### Konstrukcja

Kocioł posiada certyfikat zgodności z wymogami dyrektywy ciśnieniowej PED. Jest oferowany w ośmiu wersjach standardowych. W obrębie kotła zabudowano wysoce wydajny rurowy wymiennik ciepła, którego sprawność można jeszcze podnieść przez dołączenie opcjonalnego zintegrowanego ekonomizera. W razie potrzeby kocioł można wyposażyć w obejście (by-pass) spalin, którym spaliny omijają kocioł w przypadku, gdy akurat nie ma odbioru pary. Moduł kogeneracyjny lub inne źródło ciepła odpadowego może dzięki temu pracować nieprzerwanie.

### Wyposażenie

Kocioł parowy odzysknicowy posiada izolację i jest wyposażony w nowoczesne osprzęt bezpieczeństwa. Ze względów transportowych obejście spalin jest dostarczane oddzielnie, montaż i wykonanie izolacji odbywają się na budowie. Sterowanie kotłem BCO oparte na sterownikach programowalnych i wyposażone w dotykowy panel obsługowy jest umieszczone w oddzielnej szafie sterowniczej stojącej lub naściennej.

### Korzyści

- Podwyższenie efektywności energetycznej i korzyści dla środowiska naturalnego poprzez wykorzystanie energii ciepła odpadowego
- Zapewnienie zasilania z własnego źródła ciepła
- Wysoka sprawność dzięki wydajnemu rurowemu wymiennikowi ciepła i dobrej izolacji
- Uzyskanie jeszcze lepszej efektywności w przypadku korzystania z opcjonalnego zintegrowanego ekonomizera
- System dopasowanych wzajemnie modułów upraszcza projektowanie i skraca czas montażu
- Na życzenie kompletny system wraz z modułem kogeneracyjnym
- Intuicyjne sterowanie kotłem oparte na sterownikach programowalnych z najwyższą przejrzystością danych procesowych
- Łatwe uruchomienie dzięki wstępnym ustawieniom fabrycznym układu sterowania kotłem
- Nieskomplikowane okablowanie na miejscu instalacji dzięki gotowym złączom z wtyczkami
- Niezawodność, trwałość i długi cykl życia kotła
- Ograniczone zróżnicowanie części, niepotrzebny obszerny zapas części zamiennych
- Serwis posprzedażowy





Przegląd produktów

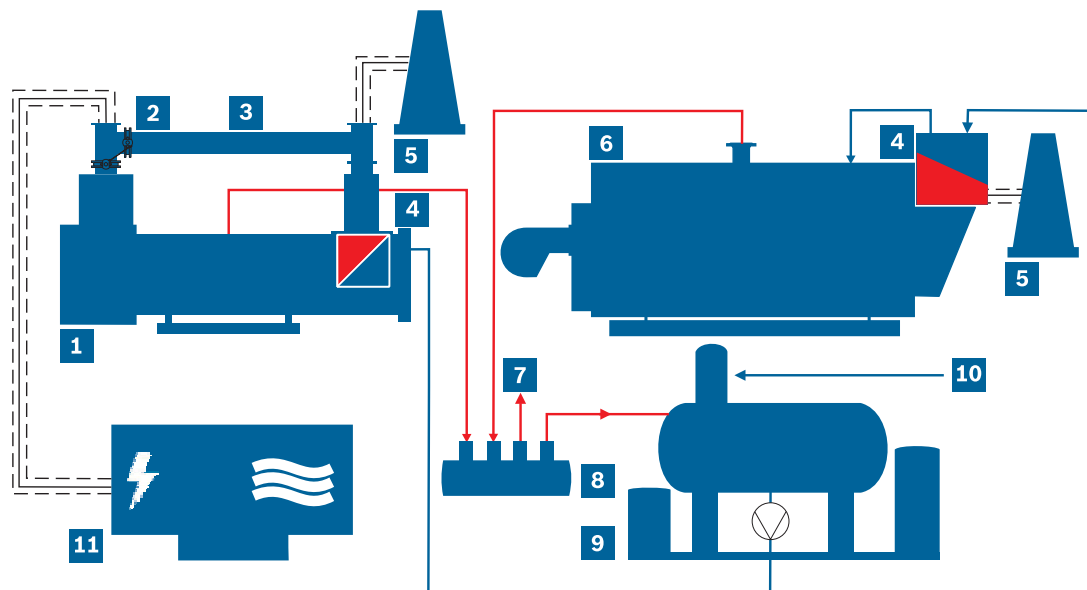
Kotły parowe

**Odzysk ciepła odpadowego**

Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania



Ryc. 192 Schemat funkcjonalny odzysknicowego kotła parowego UNIVERSAL HRSB (ilustracja przedstawia instalację w dużym uproszczeniu)

- |                                    |                                         |
|------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>1</b> Kocioł odzysknicowy       | <b>7</b> Odbiornik                      |
| <b>2</b> Kłapy obejścia (by-passu) | <b>8</b> Kolektor                       |
| <b>3</b> Obejście spalin (by-pass) | <b>9</b> Moduł przygotowania wody WSM-V |
| <b>4</b> Ekonomizer                | <b>10</b> Woda uzupełniająca            |
| <b>5</b> Komin                     | <b>11</b> Moduł kogeneracyjny           |
| <b>6</b> Kocioł parowy szczytowy   |                                         |

### Typoszereg UL-S jako 3-ciągowe kotły odzysknicowe

- Kotły typoszeregu UL-S mogą być stosowane jako kotły czysto odzysknicowe
- Do stosowania przy wysokich temperaturach spalin
- Do stosowania w połączeniu z modułami kogeneracyjnymi lub turbinami gazowymi
- Wykorzystanie ciepła odpadowego do wytwarzania pary



Ryc. 193 Widok od frontu 3-ciągowego kotła odzysknicowego bez palnika

### 3.2 Kocioł 4-ciągowy z palnikiem

Konwencjonalnie opalany kocioł wytwarzający ciepło jednocześnie wykorzystujący ciepło odpadowe ze spalin z innych źródeł ciepła.



Ryc. 194 Kocioł 4-ciągowy z palnikiem

Dane techniczne	Typ U-LS
<b>Czynnik termodynamiczny</b>	para nasycona o wysokim ciśnieniu
<b>Konstrukcja</b>	3-ciągowy kocioł płomienicowo-płomieniówkowy z dodatkowym czwartym ciągiem płomieniówek
<b>Wydajność w kg/h</b>	700 do 28 000
<b>Maks. dopuszczalne ciśnienie w bar</b>	do 30
<b>Maks. temperatura spalin od źródła ciepła odpadowego w °C</b>	550
<b>Min. ilości spalin od źródła ciepła odpadowego w kg/h</b>	500
<b>Maks. ilości spalin od źródła ciepła odpadowego w kg/h</b>	23 500
<b>Paliwo spalane przez źródło ciepła odpadowego</b>	gaz ziemny (inne rodzaje spalin na zapytanie)
<b>Zakres mocy podłączalnych modułów kogeneracyjnych w MweI</b>	ok. 0,2 do 4

Te warianty kotłów parowych to konwencjonalnie opalane 3-ciągowe konstrukcje z dodatkowym oddzielnym ciągiem płomieniówek do wykorzystania ciepła odpadowego. Zasadniczo używa się ich w kombinacji z modułami kogeneracyjnymi i turbinami gazowymi. System odzysku ciepła odpadowego wykorzystuje gorące spaliny z wcześniejszego procesu spalania do współwytwarzania ciepła dla celów technologicznych.

Używanie kotła odzysknicowego bez palnika pomocniczego zwykle wymaga korzystania z dodatkowego kotła szczytowego. Zastosowanie kotłów odzysknicowych z własnym opalaniem sprawia, że dodatkowe kotły są zbędne, co pozwala na duże oszczędności finansowe, zmniejszenie powierzchni kotłowni oraz zredukowanie dodatkowego wyposażenia.

Przegląd  
produktów

Kotły parowe

**Odzysk ciepła  
odpadowego**Moduły dla kotłów  
parowychModuły do  
zasilania kotłówSystemy  
sterowania

## Konstrukcja

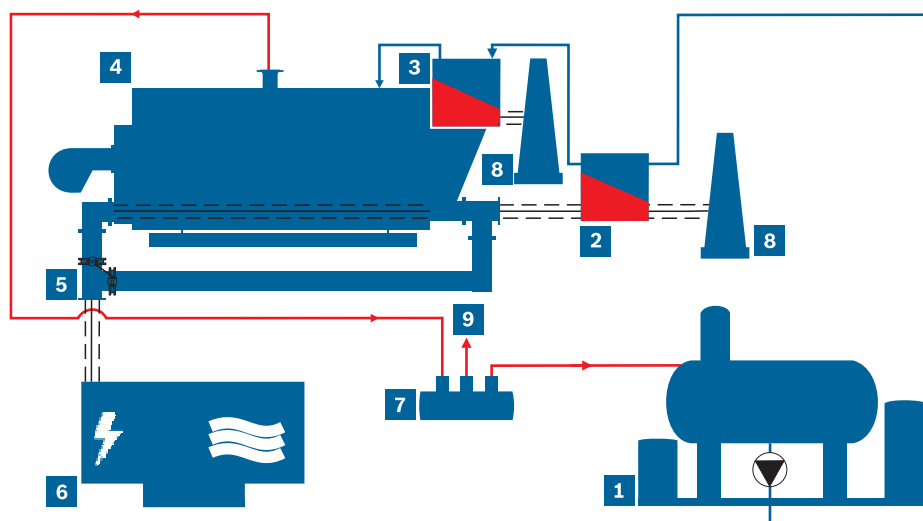
Konstrukcja naszych kotłów odzysknicowych z palnikiem bazuje na konstrukcji kotłów serii UL-S. Kocioł zostaje dodatkowo wyposażony w oddzielny czwarty ciąg płomieniówek do wykorzystania ciepła odpadowego.

## Wyposażenie

Dostępne wyposażenie jest identyczne jak dla kotłów parowych UNIVERSAL UL-S.

## Korzyści

- Podwyższenie efektywności energetycznej i korzyści dla środowiska naturalnego poprzez wykorzystanie energii ciepła odpadowego
- Zapewnienie zasilania z własnego źródła ciepła
- System dopasowanych wzajemnie modułów upraszcza planowanie i skraca czas montażu
- Na życzenie kompletny system wraz z modułem kogeneracyjnym
- Intuicyjne sterowanie kotłem oparte na sterownikach programowalnych z najwyższą przejrzystością danych procesowych
- Łatwe uruchomienie dzięki wstępnym ustawieniom fabrycznym układu sterowania kotłem
- nieskomplikowane okablowanie na miejscu instalacji dzięki gotowym złączom pod wtyczki
- niezawodność, trwałość i długi cykl życia kotła
- ograniczone zróżnicowanie części, niepotrzebny obszerny zapas części zamiennych
- Serwis posprzedażowy

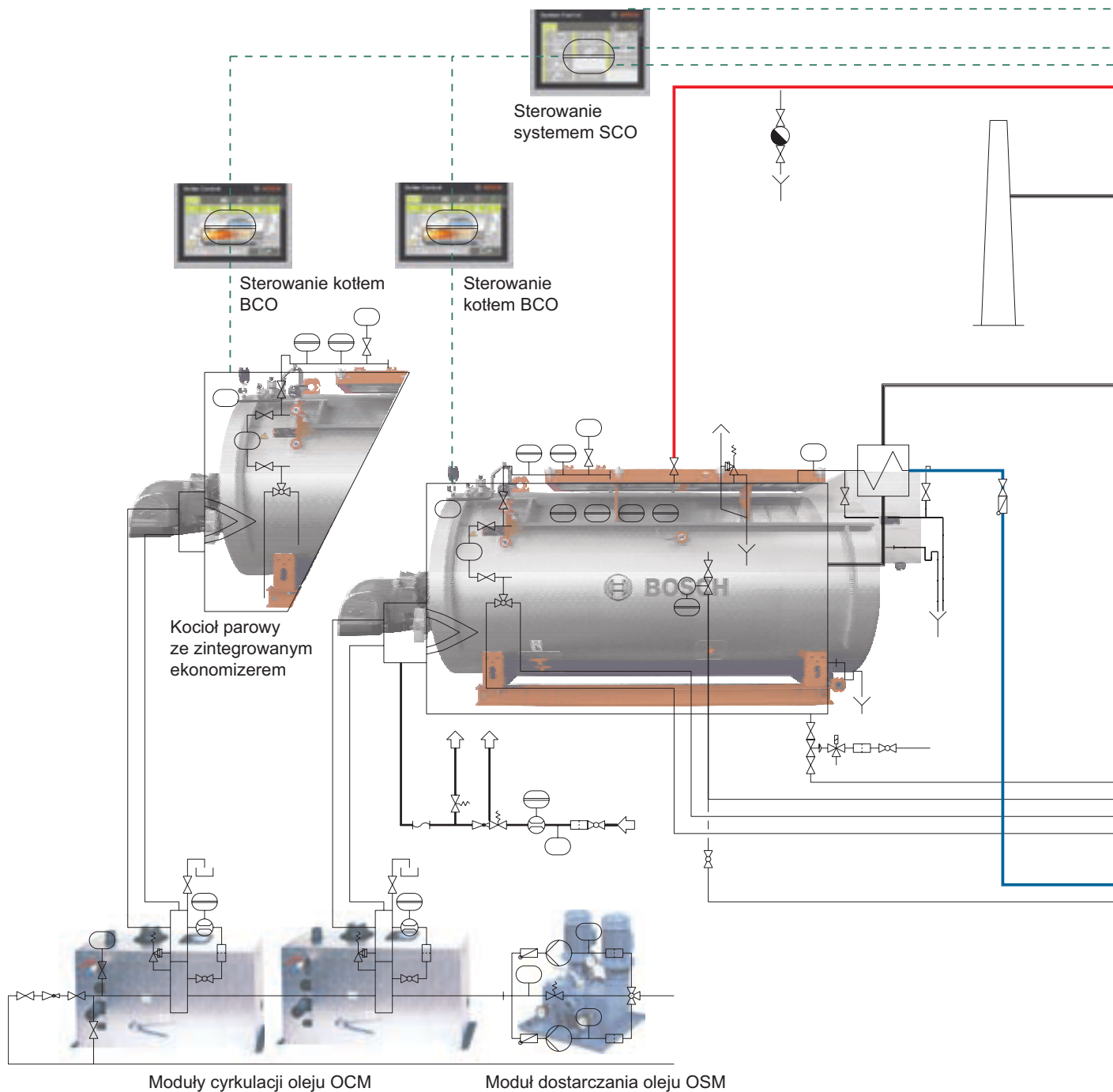


Ryc. 195 Schemat funkcjonalny 4-ciągowego kotła z palnikiem (ilustracja przedstawia instalację w dużym uproszczeniu)

- |                                         |                              |
|-----------------------------------------|------------------------------|
| <b>1</b> Moduł przygotowania wody WSM-V | <b>6</b> Moduł kogeneracyjny |
| <b>2</b> Spalinowy wymiennik ciepła     | <b>7</b> Kolektor            |
| <b>3</b> Ekonomizer                     | <b>8</b> Komin               |
| <b>4</b> 4-ciągowy kocioł parowy        | <b>9</b> Odbiornik           |
| <b>5</b> Obejście spalin (by-pass)      |                              |

### 3.3 Energooszczędność systemu

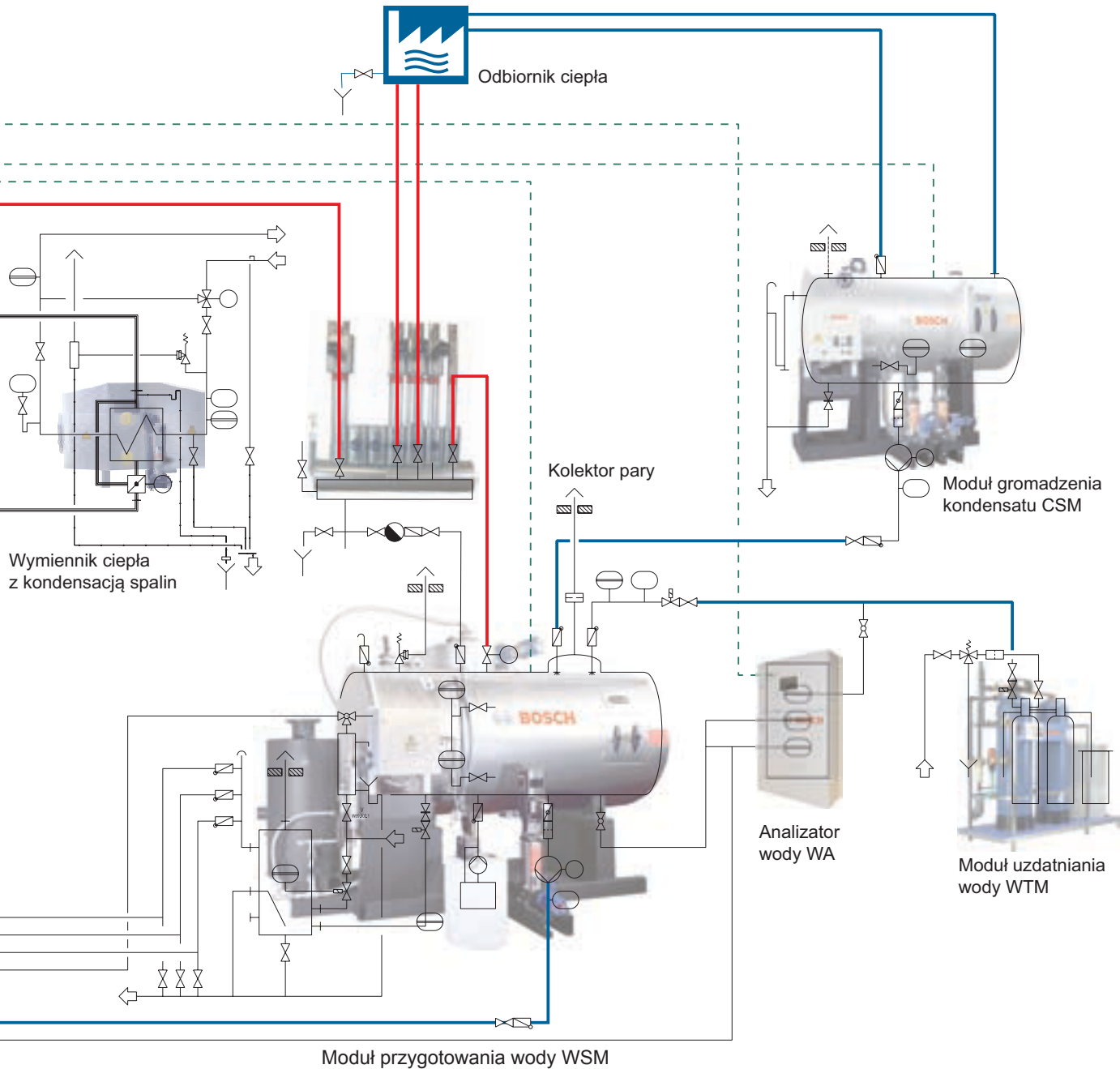
Wysokie efektywne systemy kotłowe zbudowane z optymalnie dopasowanych komponentów zużywają mniej energii emitują mniej szkodliwych substancji do środowiska.



Ryc. 196 Schemat funkcjonalny komponentów kotłowni

Przegląd  
produktów

Kotły parowe

**Odzysk ciepła  
odpadowego**Moduły dla kotłów  
parowychModuły do  
zasilania kotłówSystemy  
sterowania









## 4 Moduły dla kotłów parowych

Nasze moduły dla kotłów parowych umożliwiają wyposażenie kotłowni zgodnie z życzeniem użytkownika. Zapewniają maksymalne bezpieczeństwo pracy kotłowni, wysoką efektywność nawet w specyficznych warunkach pracy.

### 4.1 Moduł przygotowania wody WSM

Moduł przygotowania wody służy do chemicznego i termicznego uzdatnienia wody zasilającej kocioł parowy oraz do usuwania odsolin i odmulin.

- Wprowadzenie i gromadzenie kondensatu i wody uzupełniającej
- Częściowe odgazowanie termiczne wody zasilającej przez moduł WSM-T
- Całkowite odgazowanie termiczne wody zasilającej przez moduł WSM-V
- Chemiczne kondycjonowanie wody zasilającej
- Rozprężanie i chłodzenie odsolin i odmulin
- Chłodzenie próbek wody
- Regulacja i wizualizacja za pomocą programowalnego systemu sterowania PLC :
  - poziomu wody w zbiorniku
  - temperatury wody zasilającej – moduł WSM-T
  - ciśnienia w zbiorniku – moduł WSM-V
  - temperatury wody ściekowej
- Sterowanie dozowaniem środków chemicznych
- Ochrona pompy zasilającej przed suchobiegiem
- Ochrona przed przepełnieniem



**Ryc. 197** Moduł przygotowania wody WSM-V do odgazowania całkowitego dla wszystkich kotłów parowych o wydajności w zakresie od 2000 do 100 000 kg/h

### Konstrukcja

Wszystkie komponenty są zmontowane w wielofunkcyjną jednostkę hydraulicznie orurowaną, zaizolowaną i elektrycznie okablowaną. Nie ma już potrzeby budowania kosztownych konstrukcji wsporczych: kompaktowy moduł jest zamontowany na ramie nośnej i przeznaczony do posadowienia na poziome kotłowni. Wszystkie funkcje są sterowane i automatycznie regulowane przez sterowanie programowalne z panelem dotykowym.

### Wyposażenie

Moduł składa się z podgrzewanego parą zbiornika wody zasilającej, stacji dozowania chemikaliów, rozprężacza odsolin, chłodniczki próbek wody oraz przynależnej armatury i szafki sterowniczej. Opcjonalnie moduł można wyposażyć w dodatkowe komponenty, jak np. urządzenie do odzysku ciepła z odsolin, drugą stację dozowania chemikaliów czy moduły pomp zasilających. W module WSM-V zastosowano odgazowywacz ociekowy lub rozpylający zabudowany na zbiorniku wody zasilającej.

### Korzyści

- Szybkie i proste projektowanie, montaż i odbiór
- Nie wymaga wysokości napływu słupa wody, montaż na poziome kotłowni
- Zminimalizowana ilość przyłączy, zmontowana jednostka gotowa do pracy
- Łatwe uruchomienie, obsługa i serwis
- Gwarancja na cały moduł
- Zapewniona dostawa części zamiennych
- Łatwy transport oraz zmiana miejsca ustawienia
- Wysoki stopień odgazowania w module WSM-T
- Najwyższy stopień odgazowania w module WSM-V
- Zmniejszone zużycie preparatów chemicznych w module WSM-V



Ryc. 198 Moduł przygotowania wody WSM-T do odgazowania częściowego dla wszystkich kotłów parowych o wydajności do 8000 kg/h



## 4.2 Kolektor pary SD

W kolektorze następuje rozdzielanie wytworzonego strumienia masowego pary na poszczególne odbiory oraz wytrącenie i odprowadzenie wilgotności resztkowej.

### Konstrukcja

Rura kolektora wraz z odejściami, w liczbie zamówionej przez klienta, jest zmontowany wraz z przyłączami kołnierzowymi oraz całą niezbędną armaturą w modułową jednostkę gotową do użycia.

### Wyposażenie

Kolektor jest fabrycznie wyposażony w manometr, zawory odcinające, zawór zwrotny oraz spust kondensatu i termicznie zaizolowany.

### Korzyści

- Centralna dystrybucja w instalacjach o złożonej strukturze odbiorów pary pozwala zmniejszyć straty na przesyle
- Oszczędności dzięki scentralizowanej obsłudze i konserwacji



Ryc. 199 Kolektor pary SD w działającej instalacji

### 4.3 Moduł akumulacji pary SAM

Moduł ten służy do akumulowania pewnej ilości energii, która powstaje w czasie obniżenia ciśnienia i jest możliwa do wykorzystania jako tzw. para wtórna. Zastosować ją można do wyrównania pików obciążenia, np. przy w okresach krótkotrwałych przekroczeń nominalnego obciążenia kotła parowego. Energia cieplna powstająca przy rozprężeniu jest tym większa im większa jest pojemność zbiornika.

Zbiornik pary jest wypełniony w 50% wodą i jest ogrzewany parą do osiągnięcia ciśnienia zasilającego. Zbiornik jest opróżniany poprzez otwarcie urządzenia odcinającego od strony odbiornika pary. Do zbiornika zostaje dopuszczona zawsze taka sama ilość pary jaka została z niego pobrana. Z reguły nie ma potrzeby, aby w czasie pracy modułu doprowadzać uzupełniać układ dodatkową wodą zasilającą. Aby zapobiec wzrostowi poziomu wody moduł został wyposażony w odwadniacz pływakowy.

#### Konstrukcja

Zbiornik pary składa się z leżącego cylindrycznego zbiornika z wbudowaną rurą perforowaną pary grzewczej.

#### Wyposażenie

Moduł jest zaizolowany i dostarczany z zamontowanym całym osprzętem jako gotowa do użytku jednostka. Wyposażony jest w armaturę odcinającą na wlocie i wylocie pary, odpowietrzającą, spustową, zabezpieczającą przed przelaniem i nadciśnieniem, bezpośredni wskaźnik temperatury oraz urządzenie wskazujące poziom wody (wodowskaz).

#### Korzyści

- Zabezpieczenie wydajności systemu w okresie krótkotrwałych pików obciążenia
- Redukcja porywania cząstek wody przez parę i jego negatywnych skutków
- Redukcja częstotliwości włączeń i wyłączeń kotła parowego
- Redukcja zużycia energii i podzespołów



Ryc. 200 Moduł akumulacji pary SAM



Przeгляд produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła  
odpadowego**Moduły dla kotłów  
parowych**Moduły do  
zasilania kotłówSystemy  
sterowania

## 4.4 Moduł gromadzenia kondensatu CSM, wysokociśnieniowy system kondensatu CHP

Moduły gromadzenia kondensatu są stosowane dla zbierania i tymczasowego przechowywania kondensatu napływającego z odbiorników pary i rozprężaczy. Pompa kondensatu pompuje kondensat z powrotem do odgazowywacza na zbiorniku wody zasilającej w zależności od zapotrzebowania na wodę i poziomu wody w zbiorniku. Bezciśnieniowe moduły gromadzenia kondensatu są zazwyczaj ustawiane w pobliżu odbiorników.

W wysokociśnieniowych systemach kondensatu utrzymywane jest ciśnienie i temperatura kondensatu, aby uniknąć lub przynajmniej mocno zredukować straty rozprężania. Pompa kondensatu pompuje kondensat bezpośrednio do kotła parowego. Nie ma potrzeby ponownego odgazowywania wysokociśnieniowego kondensatu. Wysokociśnieniowe systemy kondensatu należy stosować wszędzie tam, gdzie z uwagi na parametry kondensatu wpuszczanie go do zbiornika wody zasilającej lub bezciśnieniowego modułu gromadzenia kondensatu związane byłoby z dużymi stratami rozprężania.

### Konstrukcja

Wszystkie komponenty zebrane są w wielofunkcyjną zmontowaną hydraulicznie jednostkę, zaizolowaną i elektrycznie okablowaną. Bezciśnieniowy moduł gromadzenia kondensatu jest zamontowany na ramie nośnej i przeznaczony do posadowienia na poziomie kotłowni. Wysokociśnieniowy system kondensatu jest przystosowany do zabudowy na miejscu i wymaga min. 1,5 m napływu słupa wody. Wszystkie funkcje są sterowane i automatycznie regulowane przez sterownik programowalny z panelem dotykowym.

### Wypożenie

Urządzenie składa się z komponentów: zbiornika kondensatu, modułu pompy kondensatu, szafy sterowniczej oraz osprzętu. Jest fabrycznie orurowane i zaizolowane.

### Korzyści

- Zmniejszenie ilości wody uzupełniającej i zużycia energii na odgazowanie termiczne
- Stosowanie wysokociśnieniowego systemu kondensatu pozwala zmniejszyć straty pary z rozprężania, ilość odsolin i odmulin, zużycie chemikaliów i ogranicza ryzyko korozji w systemie kondensatu.



**Ryc. 201** Bezciśnieniowy moduł gromadzenia kondensatu zbiera spływający kondensat i zwraca go (via system odgazowywacza) do obiegu wodno-parowego



**Ryc. 202** Stosowanie wysokociśnieniowego systemu kondensatu drastycznie redukuje zużycie paliwa, wody uzupełniającej i preparatów chemicznych do przygotowania wody





Przegląd produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła odpadowego

**Moduły dla kotłów parowych**

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

## 4.5 Moduł rozprężania i schładzania odsolin i odmulin BEM

Zadaniem modułu rozprężania i schładzania odsolin i odmulin jest gromadzenie gorących odsolin, odmulin i pozostałych spustów powstających w systemie parowym. Spusty te są rozprężane i schładzane do dopuszczalnej temperatury zrzutu do kanalizacji. Moduł został tak skonstruowany, że może pracować w instalacjach wielokotłowych z maksymalnie 3 kotłami parowymi..

### Konstrukcja

Zamknięty, stojący zbiornik zamontowany na ramie nośnej, posiadający różne króćce doprowadzające i odprowadzające. Dolna część zbiornika jest w czasie jego pracy wypełniona wodą, natomiast górna połowa jest przestrzenią rozprężania. Temperatura odsolin i odmulin jest odczytywana przez zamontowany w dolnej części przetwornik temperatury i zamieniana na sygnał elektryczny. Poprzez wprowadzenie zimnej, zmiękczonej wody uzupełniającej tworzy się chłodniejsza mieszanka, która po osiągnięciu odpowiedniej temperatury spustu zostaje odprowadzona przelewem do kanalizacji. Regulacja temperatury mieszanki może odbywać się ze sterownika modułu przygotowania wody.

### Wyposażenie

Moduł składa się ze stojącego cylindra z obu stron zamkniętego dennicami i zabezpieczonego termicznie. Jest on wyposażony w całą niezbędną armaturę, fabrycznie zmontowany i zaizolowany.

### Korzyści

- Szybki i prosty montaż z małą ilością połączeń, do natychmiastowego użytku
- Spełnienie wszystkich uwarunkowań prawnych dzięki pracy w trybie automatycznym



Ryc. 203 Moduł rozprężania i schładzania odsolin i odmulin BEM

## 4.6 Moduł rozprężania i odzysku ciepła EHM

Dzięki zastosowaniu tego modułu można odzyskać dużą ilość ciepła zawartego w gorących strumieniach odsolin/kondensatu. W zbiorniku rozprężania następuje rozprężenie znajdującej się pod ciśnieniem wody. Powstająca przy rozprężeniu para wtórna wspomaga ogrzewanie zbiornika wody zasilającej. W podłączonym dalej wymienniku ciepła dochodzi do podgrzania wody uzupełniającej i ochłodzenia odsolin/kondensatu do ok. 35 °C.

### Konstrukcja

Moduł składa się ze zbiornika rozprężania, zintegrowanego wymiennika ciepła do odzysku ciepła, konstrukcji nośnej i całego niezbędnego osprzętu.

### Wyposażenie

Moduł wraz z całą konieczną armaturą jest fabrycznie zmontowany i oferowany w izolacji termicznej.

### Korzyści

- Szybki i prosty montaż z małą ilością połączeń, do natychmiastowego użytku
- Podwyższenie sprawności kotła
- Oszczędność kosztów paliwa, wody chłodzącej i ścieków



Ryc. 204 Moduł rozprężania i odzysku ciepła EHM



Przeгляд produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła  
odpadowego**Moduły dla kotłów  
parowych**Moduły do  
zasilania kotłówSystemy  
sterowania

## 4.7 Moduł rozprężania, odzysku ciepła i spustu wody EHB

Moduł jest kombinacją modułu rozprężania i odzysku ciepła EHM i modułu rozprężania i schładzania odsolin i odmulin BEM. Służy zatem do odzysku ciepła zawartego w gorącej wodzie spustowej (odsolinach/kondensacie) i schłodzenia wody ściekowej do dopuszczalnej temperatury zrzutu do kanalizacji.

### Konstrukcja

Moduł składa się ze zbiornika rozprężania i zbiornika spustu i schładzania odsolin i odmulin. Dla odzysku ciepła został zintegrowany wymiennik ciepła wraz z całą niezbędną armaturą.

### Wyposażenie

Moduł składa się z dwóch stojących nad sobą cylindrów z obu stron zamkniętych dennicami, stacji odbierającej, całej niezbędnej armatury, orurowania. Jest fabrycznie zmontowany, zaizolowany i gotowy do użytku.

### Korzyści

- Szybki i prosty montaż z małą ilością podłączeń, do natychmiastowego użytku
- Spełnienie wszystkich uwarunkowań prawnych dzięki pracy w trybie automatycznym
- Podwyższenie sprawności kotła
- Oszczędności na kosztach paliwa, wody chłodzącej i ścieków



Ryc. 205 Moduł rozprężania, odzysku ciepła i spustu wody EHB

## 4.8 Chłodnica oparów VC

W systemach pełnego odgazowania termicznego dochodzi z zasady do powstania oparów. Bez chłodnicy oparów zostałyby one wypuszczona beзуżytecznie do atmosfery. Na wymienniku ciepła znajdującym się w chłodnicy oparów zachodzi zjawisko kondensacji pary. Odzyskane w procesie ciepło skraplania jest zużywane do podgrzewania wody uzupełniającej.

### Konstrukcja

Płytkowy wymiennik ciepła z gwintowanymi połączeniami, części stykające się z czynnikiem są wykonane ze stali nierdzewnej.

### Wyposażenie

Moduł składa się z wymiennika ciepła i niezbędnej armatury.

### Korzyści

- Odzysk ciepła i tym samym podwyższenie sprawności kotła
- Wykorzystanie ciepła w obiegu wodnym kotłowni lub w oddzielnym obiegu wody



Ryc. 206 Chłodnica oparów VC

## 4.9 Moduł pompowy PM

Moduł jest stosowany do pompowania wody zasilającej ze zbiornika wody zasilającej do kotła lub do pompowania kondensatu ze zbiornika kondensatu do modułu przygotowania wody zasilającej. Pompa w obrębie modułu pompowego jest opcjonalnie wyposażona w silnik z przetwornicą częstotliwości do bezstopniowej regulacji strumienia wody w zależności od aktualnego zapotrzebowania.

### Konstrukcja

Dostarczane pompy są pionowymi, wielostopniowymi wysokociśnieniowymi pompami obrotowymi z całkowicie zamkniętym, chłodzonym powietrzem silnikiem. Są zaprojektowane specjalnie dla przemysłowych kotłów parowych.

### Wyposażenie

Moduł pompy wody zasilającej jest fabrycznie zamontowany na konsoli wraz ze wskaźnikiem ciśnienia, armaturą odcinającą, filtrującą oraz zwrotną.

### Korzyści

- Dla skrócenia montażu moduł jest dostarczany jako zmontowany fabrycznie
- Wariant z regulowaną prędkością obrotową dla podniesienia sprawności ekonomizera
- Obniżenie poboru mocy i podwyższenie komfortu obsługi



Ryc. 207 Moduł pompowy PM

Przegląd  
produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła  
odpadowego**Moduły dla kotłów  
parowych**Moduły do  
zasilania kotłówSystemy  
sterowania

## 4.10 Moduł regulacji wody zasilającej RM

Jeżeli nie zastosowano pompy zasilającej z regulowaną prędkością obrotową zaleca się alternatywnie do wszystkich kotłów z palnikami modulowanymi i wymiennikami ciepła regulację ciągłą modułem regulacji wody zasilającej RM. Moduł wydłuża czas przepływu przez wymiennik ciepła i tym samym zapewnia optymalny odzysk ciepła ze spalin. Równolegle moduł regulacji wody zasilającej zabezpiecza minimalną ilość wody potrzebną do schłodzenia pompy wody zasilającej.

Zmontowany fabrycznie moduł należy zamontować w odpowiednim miejscu na przewodzie tłocznym wody zasilającej. Jest on przewidziany do regulacji na dopływie.



Ryc. 208 Moduł regulacji wody zasilającej RM

### Wyposażenie

Moduł regulacji wody zasilającej dla bezstopniowej regulacji składa się z zaworu regulacyjnego wody zasilającej, zaworu odpływowego, filtra i dwóch zaworów odcinających, jak również obejścia (by-passu).

### Korzyści

- Podwyższenie efektywności wymiennika ciepła
- Redukcja włączeń pompy zasilającej
- Stały poziom wody w kotle
- Zapewniony minimalny przepływ do chłodzenia pompy zasilającej

## 4.11 Wymiennik do odzysku ciepła ze spalin ECO wolnostojący

Wymiennik ciepła służy do odzyskiwania ciepła, które podgrzewając wodę powracającą z sieci obniża temperaturę spalin.

Spaliny zawierają znaczny potencjał cieplny o wysokiej temperaturze. Wolnostojące moduły ekonomizera z wysokowydajną powierzchnią wymiany ciepła wykorzystują tą energię do podgrzania wody zasilającej i znaczącego zwiększenia wydajności nowych i starszych kotłów parowych. Ekonomizer do pracy „na sucho” jest używany do podgrzewania wody zasilającej. Aby wykorzystać jeszcze ciepło utajone w spalinach w kolejnym podłączonym module ekonomizera następuje kondensacja spalin i podgrzewanie wody uzupełniającej. Redukuje to znacznie straty cieplne oraz ogranicza emisję substancji szkodliwych. Modernizacja przemysłowych kotłów parowych jednopłomienicowych dzięki zastosowaniu tych modułów jest bardzo prosta..

### Konstrukcja

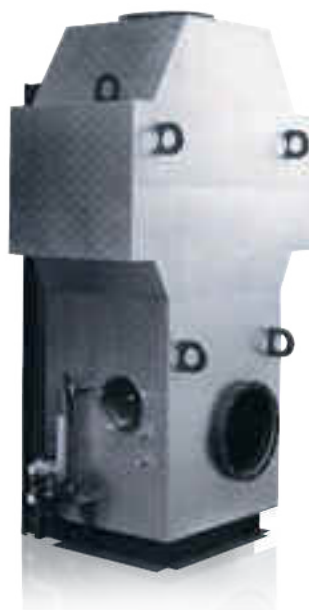
W dolnej części wprowadzane są spaliny, które przepływają przez zintegrowany wymiennik ciepła umieszczony w górnej części i w ten sposób odzyskiwane jest z nich ciepło.

### Wyposażenie

Moduł jest zmontowany na stabilnej ramie nośnej i na tylnej stronie posiada szyny transportowe. Siłownik, orurowanie przyłączy, armatura regulacyjna spalin i odcinająca spustu są zmontowane na gotowo i wraz z izolacją cieplną wchodzi w zakres dostawy.

### Korzyści

- Podniesienie sprawności kotła
- Redukcja zużycia paliwa
- Łatwa modernizacja istniejących kotłów



Ryc. 209 Wymiennik ciepła ze spalin ECO wolnostojący





Przegląd produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła odpadowego

**Moduły dla kotłów parowych**

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

## 4.12 Wymiennik ciepła kondensacyjny wolnostojący

W tym wymienniku jest odzyskiwane ciepło resztkowe zawarte w spalinach wylotowych z kotła z wykorzystaniem techniki kondensacyjnej.

Zasada działania jest podobna do zwykłego ekonomizera. Do części kondensacyjnej wymiennika wpływa chłodna woda powracająca z instalacji, która odbiera ciepło gorącym spalinom. Wskutek oziębienia spalin następuje wykroplenie zawartej w nich pary wodnej. Energia cieplna uzyskana w wyniku kondensacji służy podwyższeniu sprawności kotła, czego efektem jest redukcja zużycia paliwa oraz emisji spalin.

### Konstrukcja

Wymiennik ciepła spawany ze stali nierdzewnej, do ustawienia za kotłem, wyposażony w króćce wlotowy i wylotowy wody oraz odwadniający. Wymiennik posiada otwory do rewizji spalin. W wariancie z obejściem (bypass) strumień gorących spalin kierowany jest za pomocą klap regulacyjnych.

### Wyposażenie

Moduł jest wyposażony w kompletną armaturę regulacyjną, posiada uchwyty transportowe i nóżki oraz izolację termiczną.

### Korzyści

- Podwyższenie sprawności
- Oszczędność paliwa
- Łatwa modernizacja istniejących kotłów
- Może być stosowany w instalacjach kotłów parowych i wodnych



Ryc. 210 Wymiennik ciepła kondensacyjny wolnostojący

## 4.13 Moduł podgrzewania powietrza APH

Moduł służy do podgrzewania powietrza potrzebnego do spalania paliwa i redukcji temperatury spalin wylotowych, dzięki temu podwyższa się sprawność kotła. W nowobudowanych instalacjach wyposażonych w ekonomizer podgrzewanie powietrza jest dobrym sposobem podwyższenia sprawności tam, gdzie ze względów procesowych nie jest wskazane stosowanie ekonomizerów kondensacyjnych spalin. Standaryzowany moduł podgrzewania powietrza jest oferowany przez Bosch dla kotłów parowych jedno- lub dwupłomienicowych z palnikami dwoblokowymi. Opłacalne jest jego stosowanie w kotłowniach o wydajności ponad pięć ton pary na godzinę. Dzięki możliwości zamontowania wentylatora na szczycie kotła ten bardzo kompaktowy system zajmuje mało miejsca. Zwrot z inwestycji następuje zazwyczaj w przedziale 1,5 do 2 lat.

### Konstrukcja

W module podgrzewania powietrza produkcji Bosch część strumienia podgrzanej wody zasilającej jest wykorzystana do podgrzewania powietrza do spalania. Schłodzona w ten sposób woda zasilająca podnosi efektywność przez dalsze obniżenie temperatury spalin w podłączonym następnie kombinowanym wymienniku ciepła.

### Wyposażenie

Moduł podgrzewania powietrza składa się z zaworu trójdrogowego, kombinowanego wymiennika ciepła ze spalin i wymiennika ciepła po stronie powietrza. W porównaniu z popularnymi na rynku systemami dwuobiegowymi w naszym module zrezygnowaliśmy z pompy obiegowej, naczynia wzbiorczego i rozmaitych urządzeń zabezpieczająco-regulacyjnych. Zarówno koszt inwestycji jak i koszty bieżącej konserwacji i części zamiennych są dzięki temu mniejsze.



Ryc. 211 Moduł podgrzewania powietrza APH zainstalowany na kotle



Przegląd produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła odpadowego

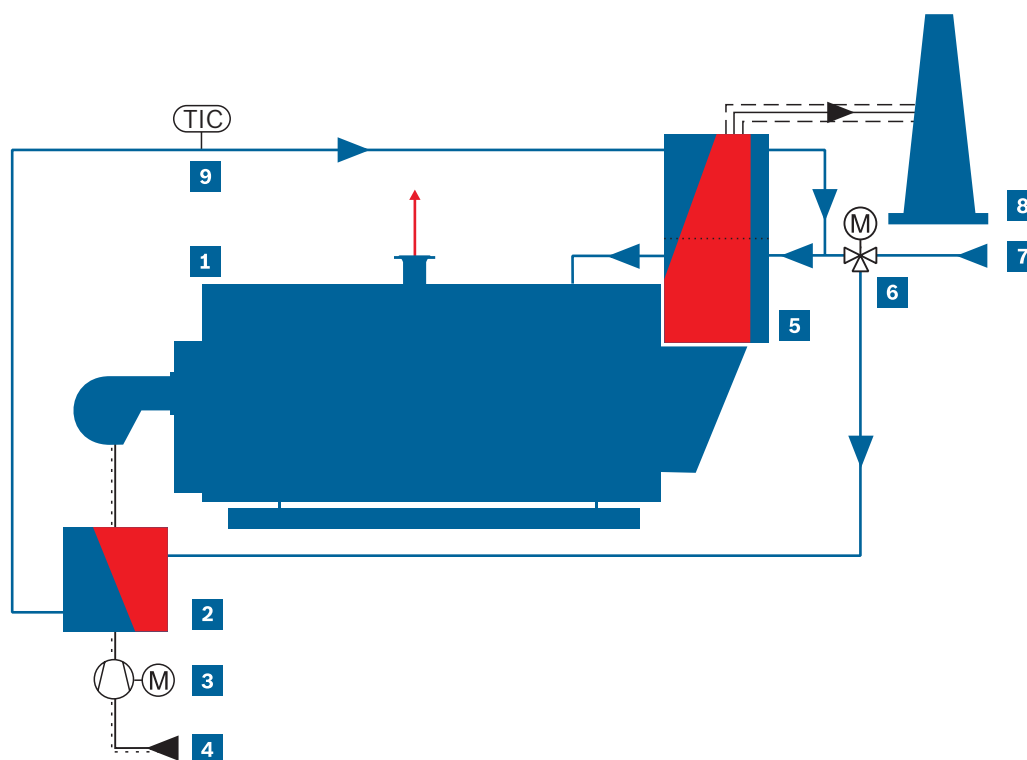
**Moduły dla kotłów parowych**

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania

### Korzyści

- Podwyższenie efektywności systemu
- Redukcja zużycia paliwa
- Redukcji emisji
- Niższe koszty inwestycji w porównaniu z rozwiązaniami konwencjonalnymi
- Niższe koszty konserwacji i napraw
- Krótki okres amortyzacji
- Standaryzowany system Bosch w najwyższej jakości



Ryc. 212 Ilustracja systemu podgrzewania powietrza w instalacji z kotłem parowym (ilustracja przedstawia instalację w dużym uproszczeniu)

- |                                                 |                                |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>1</b> Kocioł parowy                          | <b>6</b> Zawór trójdrogowy     |
| <b>2</b> Wymiennik ciepła po stronie powietrza  | <b>7</b> Woda zasilająca       |
| <b>3</b> Wentylator                             | <b>8</b> Komin                 |
| <b>4</b> Powietrze do spalania                  | <b>9</b> Regulator temperatury |
| <b>5</b> Kombinowany wymiennik ciepła ze spalin |                                |

## 4.14 Moduł chłodzenia wody zasilającej FWM

Temperatura spalin jest ważnym kryterium oceny efektywności kotła parowego. Starsze i mniejsze kotły często emitują spaliny o relatywnie wysokiej temperaturze, co skutkuje niepotrzebnie wysokimi kosztami zużycia paliwa. Techniczne rozwiązania służące redukcji strat ciepła uciekającego ze spalinami, takie jak wymiennik kondensacyjny czy podgrzewanie powietrza do spalania, szybko opłacają się w przypadku kotłów o średniej i dużej liczbie godzin pracy w tygodniu. Natomiast przy mniejszej liczbie godzin pracy urządzenia w tygodniu korzystniejszą finansowo i łatwą do realizacji alternatywą jest moduł chłodzenia wody zasilającej, zwłaszcza dla:

- systemów kotłowych z niewielkimi lub średnimi ilościami zawracanego kondensatu
- instalacji bez modułów do podgrzewania wody uzupełniającej
- instalacji z ciągłym zapotrzebowaniem na ciepłą wodę, np. na potrzeby biurowców czy technologii
- kotłów z ekonomizerami bez podłączonych za nimi kondensacyjnych wymienników ciepła
- kotłów o małej liczbie godzin pracy, np. w produkcji jednoczynowej
- kotłów o wydajności < 10 t/h

### Konstrukcja

W module chłodzenia wody zasilającej zimna woda uzupełniająca jest ogrzewana w wymienniku ciepła przez ciepłą wodę zasilającą. W wyniku schłodzenia wody zasilającej wzrasta różnica temperatur między wodą a spalinami w ekonomizerze. Dzięki lepszemu transferowi ciepła w ekonomizerze spada temperatura spalin. W ten sposób sprawność paleniska podwyższa się o do 1,8 %. Regulacja modułu zapewnia utrzymanie temperatury i przepływów zawsze w dopuszczalnym zakresie, zapobiegając przez to:

- występowaniu naprężeń termicznych powodowanych przez wlot zbyt chłodnej wody zasilającej do kotła,
- korozji w wyniku niepożądanego kondensacji spalin wskutek zbyt ich schłodzenia.

Moduł chłodzenia wody zasilającej jest skutecznym i niezawodnym środkiem obniżenia kosztów zużycia energii.

### Wyposażenie

Moduł chłodzenia wody zasilającej składa się z płytowego wymiennika ciepła wraz z izolacją, armatur, łączników rurowych i czujników temperatury i jest dostarczany zamontowany na ramie nośnej w postaci gotowej do podłączenia. Wymiary i parametry modułu są dobierane indywidualnie do specyfiki eksploatacji kotła.

### Korzyści

- Oszczędność do 1,8 % kosztów paliwa
- Łatwa modernizacja w starszych instalacjach dzięki małym gabarytom i prostemu orurowaniu
- Odpowiednio dobrana regulacja zapewnia bezpieczną eksploatację kotła i komponentów
- Szybka amortyzacja również w instalacjach o małej liczbie godzin pracy
- Szybki i prosty montaż z małą ilością połączeń, do natychmiastowego użytku
- Łatwe uruchomienie i obsługa



Ryc. 213 Moduł chłodzenia wody zasilającej FWM



Przegląd produktów

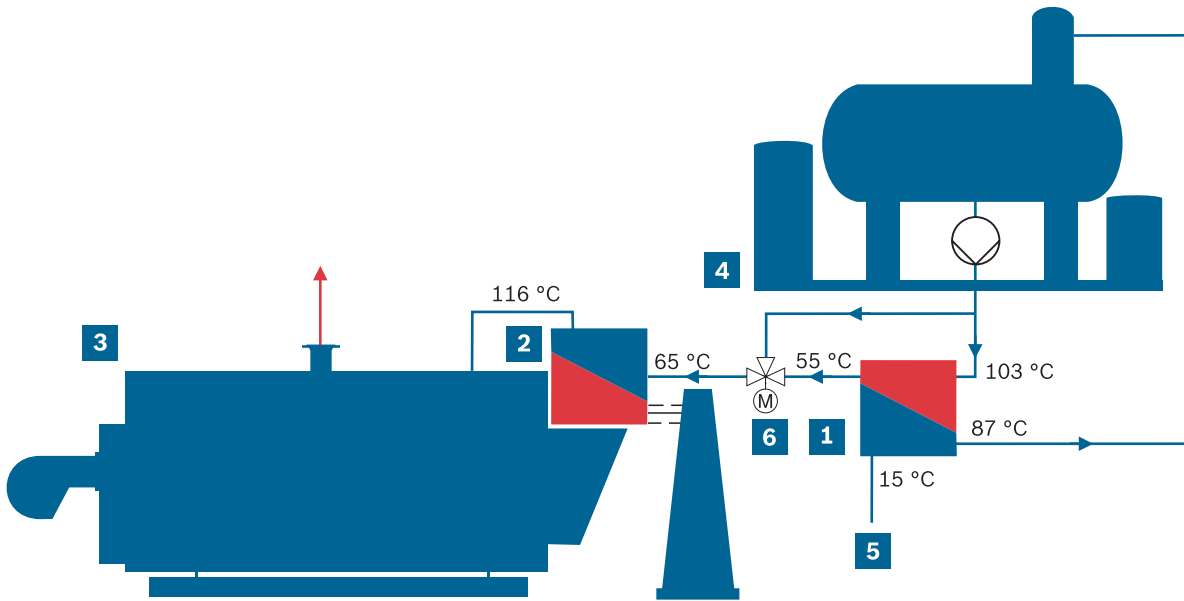
Kotły parowe

Odzysk ciepła odpadowego

**Moduły dla kotłów parowych**

Moduły do zasilania kotłów

Systemy sterowania



Ryc. 214 Ilustracja instalacji z kotłem parowym i modułem chłodzenia wody zasilającej (ilustracja przedstawia instalację w dużym uproszczeniu)

- |                                            |                                   |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>1</b> Moduł chłodzenia wody zasilającej | <b>4</b> Moduł przygotowania wody |
| <b>2</b> Ekonomizer                        | <b>5</b> Woda uzupełniająca       |
| <b>3</b> Kocioł parowy                     | <b>6</b> Zawór trójdrogowy        |

## 4.15 Analizator wody WA

Bezawaryjne działanie kotła zależy w dużej mierze od jakości wody. Moduł analizatora wody WA dokonuje ciągłej analizy, pomiaru i monitorowania parametrów wody zasilającej kocioł:

- wartości pH wody zasilającej,
- zawartości  $O_2$  w wodzie zasilającej,
- resztkowej twardości wody uzupełniającej,
- wartości pH wody kotłowej.

Wszystkie dane są transportowane magistralą komunikacyjną do systemu sterowania instalacją SCO. System SCO zawiera wszystkie ważne parametry wody łącznie z informacjami o przewodności wody w kotle oraz przewodności przepływającego kondensatu. W zależności od potrzeb regulacja i sterowanie mogą być wykonywane całkowicie automatycznie. Jeżeli przekraczane są wartości graniczne wszystkie parametry zostają wysłane do pamięci błędów SCO. Dane mogą być również stale zapisywane w archiwum. Dane te mogą być przesyłane magistralą do nadrzędnego systemu sterowania i tam dalej przetwarzane.

### Funkcje analizatora wody:

- bezstopniowe sterowanie dozowaniem środków wiążących tlen
- bezstopniowe sterowanie dozowaniem środków alkalizujących
- sterowanie zaworem oparów wraz ze wskazaniem zaoszczędzonej energii z oparów w kWh

### **Konstrukcja**

Analizator wody składa się z części analitycznej i części elektronicznej, umieszczonych w odrębnych ściennych obudowach, fabrycznie ze sobą połączonych.

### **Wyposażenie**

Część analityczna składa się z:

- czujnika pH do służącego do pomiaru wartości pH wody kotłowej w systemach do 3 kotłów oraz pomiaru wody pH zasilającej,
- czujnika O<sub>2</sub> do pomiaru zawartości O<sub>2</sub> w wodzie zasilającej,
- czujnika do pomiaru przewodności w wodzie kotłowej,
- chłodnic przygotowywanych próbek:
  - wody zasilającej i kotłowej
  - armatur do przełączania i rozdzielania poszczególnych mediów,
- wskaźnika przepływu do kontroli wzrokowej.

Część elektroniczna zawiera:

- sterowanie wraz z panelem dotykowym,
- zasilacz,
- elektronikę do modułów pomiarowych,
- procesory komunikacyjne do wymiany danych pomiędzy analizatorem wody WA i systemem zarządzania instalacją SCO.



Przegląd  
produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła  
odpadowego**Moduły dla kotłów  
parowych**Moduły do  
zasilania kotłówSystemy  
sterowania

## Korzyści

- Zwiększona niezawodność pracy dzięki ciągłemu sprawdzaniu parametrów wody
- Automatyczne monitorowanie wody dzięki wykonywaniu ciągłych pomiarów pH, poziomu zawartości tlenu i przewodności
- Zmniejszone zużycie chemii korekcyjnej dzięki dozowaniu preparatów według aktualnego zapotrzebowania
- Podwyższenie sprawności kotła dzięki zmniejszeniu raty odsalania i straty energii z oparami
- Analizator wody może pracować w instalacjach wielokotłowych z maksymalnie 3 kotłami parowymi
- Wszystkie zmierzone wartości mogą być przesyłane ethernetem do sterowania SCO lub systemu automatyzacji budynku i wizualizowane



Ryc. 215 Analizator wody WA





Przegląd produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła odpadowego

Moduły dla kotłów parowych

**Moduły do zasilania kotłów**

Systemy sterowania

## 5 Moduły do zasilania kotłów

Za pomocą naszych gotowych do montażu modułów do zasilania kotła mogą Państwo dostosować pracę kotłów wodnych i parowych do Waszych wymagań. Nasze technologie oferują możliwość optymalizacji zarządzania kotłem, jak również ochrony przed zakłóceniami w ruchu kotła.

### 5.1 Moduł uzdatniania wody WTM

W celu zapobiegania tworzeniu się kamienia kotłowego podczas pracy kotła dozwolone jest zasilanie kotła jedynie zmiękczoną wodą. W określonych przez Bosch warunkach dla parametrów wody zasilającej w instrukcji B002 wskazano dopuszczalną twardość całkowitą wody dla różnych kotłów i warunków eksploatacji. W celu zmiękczenia wody surowej jest ona filtrowana i w procesie wymiany jonowej powstaje woda uzupełniająca. Czynniki powodujące twardość wody – jony wapnia i magnezu – są zastępowane przez jony sodu.

W pełni automatyczne wykonanie oszczędza czas, wyklucza błędy obsługi, pozwala na ciągłą pracę i zwiększa wykorzystanie objętości wody surowej o tej samej twardości.

#### Konstrukcja

Wszystkie elementy modułu przygotowania wody są przejrzyste i funkcjonalnie zmontowane na ramie nośnej. Moduł można stosować do kotłów wszystkich wielkości.

#### Wyposażenie

Moduł składa się z urządzenia zmiękczającego i pojemnika na sól. Zawiera też zawór wody spustowej, kurek poboru próbek, wskaźnik ciśnienia, jak również armaturę regulacyjną, odcinającą i filtry.

#### Korzyści

- Stałe zmiękczenie wody zasilającej chroni przed tworzeniem się kamienia kotłowego na powierzchni wymiany ciepła w kotle
- Dobry transfer ciepła, doskonała ekonomiczność oraz długa żywotność
- Wysokie bezpieczeństwo pracy
- Zastosowanie wersji ze sterowaną jakością wody pozwala na rezygnację z zewnętrznej kontroli twardości wody, np. dla polepszenia wykorzystania pojemności czy też bezobsługowej pracy, jak również przy zmiennej twardości wody surowej



Ryc. 216 Moduł przygotowania wody WTM



## 5.2 Moduł regulacji gazu GRM

Moduł zapewnia stałe ciśnienie gazu przed palnikiem, niezależnie od poziomu ciśnienia wejściowego i strumienia przepływającego gazu. Zabezpiecza przed niedopuszczalnym ciśnieniem gazu i niedopuszczalnym przepływem gazu.

### Konstrukcja

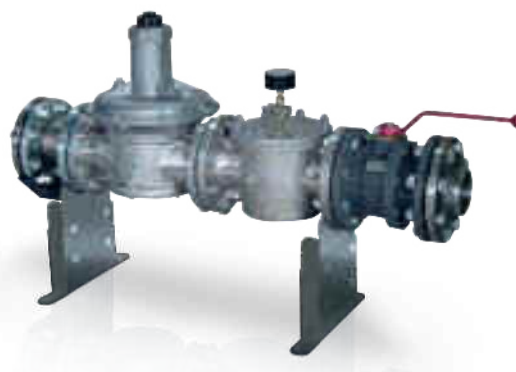
Na konsolach wsporczych są zamontowane w odpowiedniej kolejności wszystkie znajdujące się w dostawie elementy.

### Wyposażenie

Moduł regulacji gazu składa się z filtra, zaworu kulowego, armatury odcinającej itd., a więc z całej armatury niezbędnej do zasilania palnika gazem.

### Korzyści

- Zmontowany fabrycznie dla szybkiego montażu
- Spełnienie wszystkich wymogów prawnych
- Zwiększenie bezpieczeństwa pracy



Ryc. 217 Moduł regulacji gazu GRM

## 5.3 Moduł cyrkulacji oleju OCM

Moduł cyrkulacji oleju przygotowuje paliwa płynne oraz rejestruje przepływ objętościowy. Wykonany jako gotowy moduł do montażu w układach cyrkulacyjnych oleju o ciśnieniu zasilania 1,5 bara. Moduł cyrkulacji oleju OCM to zbiornik dwukomorowy oleju dla palników na olej opałowy lekki i ciężki, z ciśnieniowym rozpylaniem oleju pracujących w układzie dwuprzewodowym.

### Konstrukcja

Moduł cyrkulacji oleju jest kompaktową jednostką zamontowaną na ramie nośnej, wyposażoną w obudowę ochronną.

### Wyposażenie

Moduł wyposażony jest w zawory odcinające, filtr, ogranicznik ciśnienia, odpowietrznik, dwie zatyczki do spustu i jest zamknięty w obudowie ochronnej. Do pracy na oleju ciężkim posiada dodatkowo ogrzewany filtr i zbiornik.

### Korzyści

- Zmontowany fabrycznie dla szybkiego montażu na miejscu
- Wiarygodny pomiar zużycia gazu



Ryc. 218 Moduł cyrkulacji oleju OCM

Przegląd  
produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła  
odpadowegoModuły dla kotłów  
parowych**Moduły do  
zasilania kotłów**Systemy  
sterowania

## 5.4 Moduł dostarczania oleju OSM

Moduł dostarczania oleju jest wykorzystywany we wszystkich systemach kotłowych z palnikami olejowymi i układami cyrkulacyjnymi oleju do pompowania i filtrowania paliw płynnych i do zasilania jednego lub kilku palników.

### Konstrukcja

Moduły montuje się w fabryce w pojedyncze lub podwójne stacje ze wszystkimi elementami sterowania w wannach wychwytyjących olej aby uprościć wbudowanie w układ pierścieniowy (ring olejowy).

### Wyposażenie

Podwójne stacje pomp umożliwiają czyszczenie filtra oleju bez przerywania pracy kotła i zapewniają 100% rezerwę. Moduły pomp dla oleju ciężkiego są dodatkowo wyposażone w elektryczny lub parowo-wodny podgrzew.



Ryc. 219 Moduł dostarcza oleju OSM

### Korzyści

- Zastosowanie we wszystkich systemach kotłowych Bosch z palnikami olejowymi i układami cyrkulacyjnymi oleju
- Zmontowany fabrycznie jako jednostka gotowa do zainstalowania na miejscu

## 5.5 Moduł regulacji ciśnienia oleju ORM

Urządzenie do regulacji ciśnienia dla utrzymania stałego ciśnienia w układach cyrkulacyjnych oleju.

### Konstrukcja

Moduł regulacji ciśnienia oleju składa się z regulatora, manometru, zaworu manometru i armatury obejściowej.

### Korzyści

- Zmontowany fabrycznie jako jednostka gotowa do zainstalowania na miejscu
- Zwiększenie bezpieczeństwa użytkownika



Ryc. 220 Moduł regulacji ciśnienia oleju ORM

## 5.6 Moduł podgrzewania oleju OPM

Moduł podgrzewania oleju służy do podgrzewania ciężkiego oleju opałowego do odpowiedniej dla danego typu palnika temperatury ułatwiającej rozpylanie.

### Konstrukcja

Cylindryczny wymiennik ciepła z armaturą montowany jest na stabilnej ramie nośnej jako kompaktowa jednostka.

### Wypośażenie

Wymiennik ciepła z wyjmowanym pęczkiem rur jest w zależności od wyboru wyposażony w ogrzewanie parowe albo parowo-elektryczne. Podgrzewacz jest zmontowany ze wszystkimi zaworami i łącznikami, systemem kontroli ogrzewania i izolację cieplną, stanowiąc moduł gotowy do instalacji na miejscu.

### Korzyści

- Zastosowanie we wszystkich systemach kotłowych Bosch z palnikami olejowymi i układami cyrkulacyjnymi oleju
- Zwiększenie bezpieczeństwa użytkowania



Ryc. 221 Moduł podgrzewania oleju OPM





Przegląd  
produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła  
odpadowego

Moduły dla kotłów  
parowych

**Moduły do  
zasilania kotłów**

Systemy  
sterowania







## 6 Systemy sterowania

### 6.1 Sterowanie kotłem BCO

Intuicyjny system sterowania kotłem oparty na sterowniku swobodnie programowalnym oferuje najwyższy stopień przejrzystości danych dla zoptymalizowanej pracy kotła.



Ryc. 222 Ekran główny systemu sterowania BCO dla kotłów parowych

Sterowanie kotłem BCO zawiera wszystkie niezbędne funkcje do kontroli pracy kotłów parowych i wodnych według specyficznych wymagań użytkownika. Szczegółowe informacje dotyczące stanów pracy, danych procesowych i wartości pomiarowych mogą być oglądane na panelu dotykowym. Różne dane systemowe są analizowane, oceniane i w czytelny sposób przedstawiane w oparciu o model wzorowany na ulicznej sygnalizacji świetlnej z wykorzystaniem oprogramowania Condition Monitoring. Charakterystyki pracy, które prowadzą do spadku sprawności, zwiększonego zużycia osprzętu lub nieprzewidzianych przestojów, mogą być wcześniej zdiagnozowane, przez co można ich uniknąć. W konsekwencji osiąga się wysoką sprawność i niezawodność instalacji kotłowej. Funkcje diagnostyczne standardowo stanowią część oprogramowania pomagają użytkownikowi kotła lub serwisantowi w szybkim lokalizowaniu i naprawieniu wszelkich nieprawidłowości w pracy kotła, co pozytywnie rzutuje na bezpieczeństwo eksploatacji.

Moduł automatyki SUC (sterowanie rozruchem, podtrzymaniem i zatrzymaniem kotła) jest opcjonalnie dostępny dla kotłów parowych wysokociśnieniowych w ramach sterowania kotłem BCO. Kiedy system SUC jest używany, procesy rozruchu i zatrzymania są przeprowadzane w pełni automatycznie za naciśnięciem przycisku lub w odpowiedzi na zadany sygnał z systemu nadrzędnego. Funkcje automatyki zabezpieczają system przed zbędnymi naprężeniami podczas zimnych startów, w trybie podtrzymania oraz normalnej pracy kotła.

#### Wyposażenie podstawowe

- Panel dotykowy 9, 12, 15 lub 19 cali
- Regulacja mocy
- Regulacja poziomu
- Sterowanie w stanach małych obciążeń
- Moduł oprogramowania Condition Monitoring do monitorowania stanów i efektywności pracy kotła

- Licznik czasu pracy kotła, pomp i palnika
- Funkcje diagnostyczne
- Rejestracja liczby startów palnika
- Wyświetlacz stanów roboczych i sygnałów zakłóceń
- Historia raportów
- Wyświetlacz z tymczasową pamięcią wszystkich wartości pomiarowych i stanów istotnych dla pracy kotła
- Dla kotłów parowych: regulacja odsalaniem i automatyka odmulania

Do podstawowego dla każdego nowoczesnego kotła parowego zakresu wyposażenia obejmującego regulację mocy, regulację poziomu, regulację jakości wody, regulację odmulania i łańcuch zabezpieczeń do sterowania kotłem BCO można dodać dodatkowe opcje i funkcje:

- Automatyczny rozruch ze stanu zimnego
- Pomiar i regulacja temperatury spalin dla kotła z ekonomizerem
- Pomiar i regulacja temperatury pary przegrzanej dla kotła z przegrzewaczem
- Pomiar strumieni ilościowych pary, wody zasilającej i paliwa
- Sterowanie przełączaniem pomp zasilających w zależności od ciśnienia, czasu lub w razie awarii
- Sterowane czasowo podtrzymanie kotła z funkcją obniżenia ciśnienia
- Wyświetlanie liczby godzin pracy, liczby startów palnika, liczby zimnych rozruchów w odniesieniu do określonego okresu czasu
- Rozpoznawanie niekorzystnych stanów rozruchowych
- Wykrywanie obecności zanieczyszczeń i niepożądanego kondensacji w wodzie i spalinach
- Generowanie komunikatów sygnalizujących konieczność przeprowadzenia konserwacji
- Pokazywanie strat energii z odmulinami i odsolinami
- Pokazywanie zużycia paliwa i wody mierzonego w czasie
- Pokazywanie wielkości poboru pary mierzonego w czasie
- Pokazywanie profilu obciążenia kotła mierzonego w czasie
- Połączenie z nadrzędnymi systemami wizualizacji i sterowania
- Usługa zdalnego wsparcia technicznego poprzez MEC Remote
- Połączenie z centralnym systemem sterowania procesami przemysłowymi

### **Korzyści**

- Intuicyjna obsługa za pomocą symboli graficznych i nowoczesne panele dotykowe
- Prosta optymalizacja wszystkich funkcji kontrolnych i pomiarowych
- Maksymalna niezawodność działania systemu dzięki zintegrowanym funkcjom monitoringu i ochrony
- Łatwe połączenie z nadrzędnym systemem wizualizacji i sterowania
- Możliwość korzystania z usługi zdalnego wsparcia technicznego MEC Remote: bezpośredni dostęp do interfejsu użytkownika
- Moduł oprogramowania Condition Monitoring dla utrzymania wysokiej sprawności i dyspozycyjności kotła
- System SUC rozruchu, utrzymania i zatrzymania kotła pozwala na w pełni automatyczną pracę wysokociśnieniowych kotłów parowych



## 6.2 Kompaktowe sterowanie kotłem parowym CSC



Ryc. 223 Sterowanie CSC do montażu na kotle lub w szafie naściennej

Łatwe w obsłudze sterowanie mniejszymi kotłami parowymi o wydajności do 4000 kg/h, wyposażone fabrycznie we wszystkie potrzebne funkcje do częściowo zautomatyzowanej pracy kotła.

### Krótki opis

Oparte o sterowniki programowalne kompaktowe sterowanie CSC jest idealnym rozwiązaniem dla kotłów parowych o wydajności do 4000 kg/h. Zawiera wszystkie podstawowe funkcje potrzebne do komfortowego sterowania i użytkowania kotła. W porównaniu ze sterowaniem BCO dla bardziej rozbudowanych instalacji CSC stanowi korzystniejszą alternatywę dla pojedynczych kotłów parowych o mniejszych wydajnościach.

### Konstrukcja

Programowalne sterowanie wyposażone w intuicyjny panel dotykowy. Wbudowane w szafie sterowniczej kotła zamontowanej na kotle wraz z kompletnym okablowaniem do czujników, sterowników i palnika. Opcjonalnie możliwe dostarczenie w wersji do montażu naściennego.

### Funkcje objęte podstawowym zakresem wyposażenia

- Ograniczenie minimalnego i maksymalnego poziomu wody
- Ograniczenie maksymalnego ciśnienia roboczego
- Regulacja poziomu wody, 2-stopniowa lub bezstopniowa
- Zabezpieczenie pomp zasilających przed suchobiegiem
- Regulacja mocy, 2-stopniowa lub bezstopniowa
- Sygnalizowanie alarmów i zakłóceń z pamięcią raportów

Do podstawowych funkcji CSC można dodać dodatkowe funkcje, takie jak np. regulacja przewodności czy automatyczne odmulanie.



### Korzyści

- Sterowanie kotłów parowych o wydajności do 4000 kg/h w atrakcyjnej cenie
- Prosta obsługa i przejrzysta wizualizacja wszystkich stanów roboczych na kolorowym panelu dotykowym
- Dogodny montaż i niewielkie rozmiary, możliwość zainstalowania w fabryce bezpośrednio na kotle lub dostawa w postaci szafy naściennej
- Gotowe okablowanie, testy fabryczne
- Zabezpieczenie mocy dla systemu zasilania paliwem, pompy wody zasilającej, systemu odmulania i odsalania
- Automatyczne procesy odsalania i odmulania w oparciu o pomiar przewodności zapewniają utrzymanie idealne warunki jakości wody

## 6.3 Sterowanie systemem SCO



Ryc. 224 Ekran główny sterowania systemem SCO

System SCO łączy sterowanie kotłami parowymi/wodnymi oraz indywidualnymi modułami sterowniczymi w jednym systemie zarządzania wyższego rzędu, otwierając wiele nowych możliwości zastosowań. Komunikacja pomiędzy sterowaniem kotła BCO, innymi sterownikami i SCO odbywa się wydajną magistralą systemową. Dzięki temu nie jest konieczne rozbudowane okablowanie i separacja sygnałów. Podłączenie do nadrzędnego systemu wizualizacji i sterowania jest możliwe poprzez rozmaite protokoły komunikacji, jak np. Modbus czy BACnet.

### Konstrukcja

Wysokowydajny system sterowania w oparciu o sterowniki programowalne z kolorowym panelem dotykowym TFT.

### Zakres wyposażenia

- Sterowanie kaskadą kotłów
- Integracja z systemami analiz wody
- Integracja z systemami odgazowania
- Integracja z systemami zwrotu kondensatu
- Integracja z systemami monitoringu zanieczyszczeń kondensatu





Przegląd produktów

Kotły parowe

Odzysk ciepła odpadowego

Moduły dla kotłów parowych

Moduły do zasilania kotłów

**Systemy sterowania**

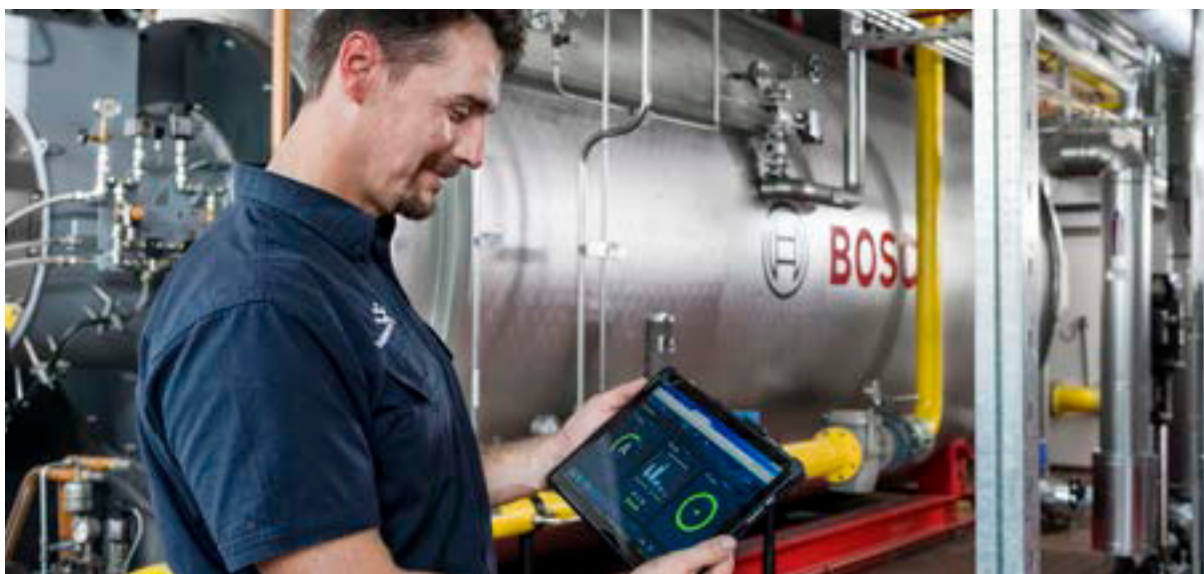
- Integracja z systemami zasilania olejem
- Szeroki zakres sterowania ciśnieniem i temperaturą
- Sterowanie pompami rezerwowymi z automatycznym przełączaniem dla kilku kotłów (dot. kotłów parowych)
- Integracja z pompami dozowania chemii

**Wyposażenie opcjonalne**

- Zintegrowana klimatyzacja dla rejonów tropikalnych
- Szafa sterownicza wykonana ze stali nierdzewnej
- Zewnętrzne sterowanie z systemu nadrzędnego

**Korzyści**

- Łatwość połączenia z nadrzędnymi systemami kontroli i wizualizacji
- Zintegrowane funkcje monitoringu i ochrony przed niewłaściwą obsługą
- Obszerna pamięć parametrów procesowych i sygnałów roboczych
- Możliwość korzystania z usługi zdalnego wsparcia technicznego MEC Remote: bezpośredni dostęp do interfejsu użytkownika
- Intuicyjna obsługa za pomocą graficznego menu na najnowocześniejszym panelu dotykowym

**6.4 MEC Optimize**

**Ryc. 225** *Efektywność i dyspozycyjność pod kontrolą: MEC Optimize zapamiętuje, analizuje i wizualizuje dane ze wszystkich podłączonych komponentów instalacji*

MEC Optimize to inteligentny system do monitorowania i optymalizowania pracy kotłów przemysłowych. Zbiera i analizuje wszystkie dane z kotła i podłączonych do instalacji komponentów i przechowuje je w pamięci przez wiele lat. Na przejrzystej wizualizacji można łatwo zlokalizować zwiększone zużycie energii i przyjrzeć się pracy kotła. System prognozuje zużycie osprzętu z uwzględnieniem sposobu pracy poszczególnych komponentów, umożliwiając w ten sposób lepsze rozplanowanie konserwacji oraz zwiększenie dyspozycyjności kotła.

Dla ułatwienia korzystania z dokumentacji kotła producent zapisał w systemie (w formie elektronicznej) wszystkie ważne dokumenty dotyczące kotła, jak np. instrukcje obsługi.

Serwisant kotła może wprowadzić do elektronicznej książki ruchu kotła wartości zmierzone podczas okresowej inspekcji i wyeksportować je do drukarki, jeśli dokumenty wymagają podpisu lub zapisać w oddzielnym pliku w archiwum.

Dodatkowo inteligentna książka ruchu kotła sprawdza wszystkie wprowadzone dane, porównuje je z zaleceniami producenta i w razie rozbieżności informuje, jakie kroki można podjąć w celu ich skorygowania.

Wizualizacja procesów realizowanych przez MEC Optimize jest możliwa na zwykłym komputerze lub tablecie, a w połączeniu z oprogramowaniem MEC Remote może być dostępna globalnie na dowolnym urządzeniu z dostępem do internetu. Każdy użytkownik z odpowiednimi uprawnieniami może w każdej chwili sprawdzić zużycie energii i dyspozycyjność kotła.

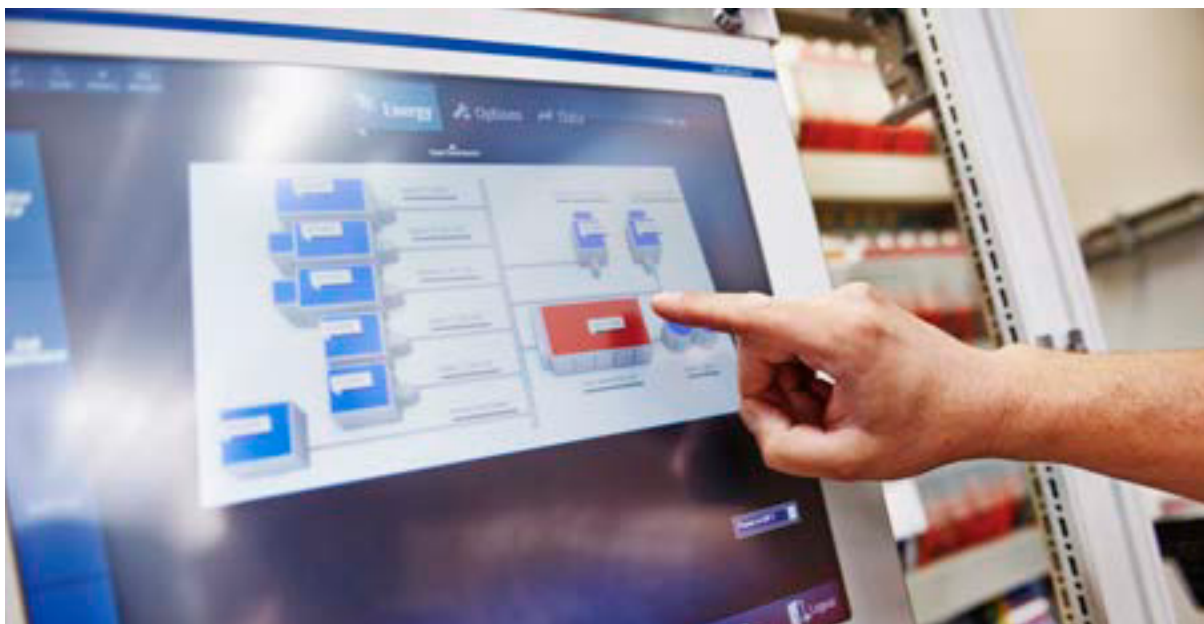
Do podstawowych funkcji MEC Optimize można dodać usługę zdalnego wsparcia technicznego MEC Remote i powiadamiania użytkownika SMS lub emailiem o aktualnym statusie instalacji. Oprogramowanie jest wyposażone w elastyczny system zarządzania uprawnieniami użytkowników, kontrolujący mobilny dostęp do wizualizacji procesów i dokładnej analizy danych procesowych.

### **Korzyści**

- Zwiększenie efektywności energetycznej – lokalizacja strat energii dzięki inteligentnej analizie danych
- Długa żywotność kotła – automatyczny monitoring pracy kotła zapobiega błędom w obsłudze
- Wyższa dyspozycyjność kotła – prognozy zużycia osprzętu umożliwiają optymalizację planów konserwacji
- Większe bezpieczeństwo eksploatacji dzięki inteligentnej książce kotła z automatyczną oceną wprowadzonych danych
- Przegląd danych archiwalnych – pełna historia danych ułatwia optymalizację pracy kotła i diagnostykę nieprawidłowości
- Elektroniczna baza dokumentów – wszystkie ważne dokumenty kotła są zapisane w lokalnym archiwum i dostępne w każdej chwili
- Możliwość korzystania z usługi zdalnego wsparcia technicznego MEC Remote – odczyt bieżących parametrów pracy kotła i powiadamianie użytkownika SMS lub emailiem o istotnych zdarzeniach



## 6.5 MEC System



**Ryc. 226** System MEC z kolorowym wyświetlaczem do przejrzystej wizualizacji, lokalizacji urządzeń wchodzących w skład systemu i ich statutu roboczego, temperatur i wydajności

Sterowanie dużymi instalacjami Master Energy Control (MEC) umożliwia połączenie urządzeń wytwarzających energię w różnych technologiach, np. kotła, modułu kogeneracyjnego i urządzenia do magazynowania energii w jeden efektywny energetyczny system. Sterowanie nim odbywa się za pomocą intuicyjnego interfejsu. MEC obejmuje inteligentne funkcje automatycznej diagnostyki i optymalizacji procesów oraz umożliwia bezpieczne mobilne zarządzanie całą instalacją. W systemie zintegrowano funkcje monitoringu przepływu energii i kosztów jej zużycia. Szereg protokolowanych danych i przydatne prognozy dają pełny obraz pracy instalacji i pozwalają zoptymalizować jej efektywność energetyczną.

### Konstrukcja

- Dostęp do wizualizacji zarówno lokalnie jak i przez internet, na tablecie, smartfonie i każdym innym urządzeniu z przeglądarką
- Bezpieczny dostęp w każdej chwili i z dowolnego miejsca na świecie
- Możliwość wykonania rozszerzenia dedykowanego poprzez dostosowanie oprogramowania do specyficznych potrzeb klienta
- Możliwość połączenia z systemem zarządzania budynkiem, systemami zarządzania energią i systemami wirtualnych elektrowni

### Zakres wyposażenia

- Monitoring efektywności energetycznej pod kątem standardu EN 50001
- Zatwierdzone narzędzie w ramach systemu zarządzania energią w oparciu o standardy BASF, dena
- Funkcje ograniczania mocy i monitoringu
- Prognozy wykorzystania modułów kogeneracyjnych w celu spełnienia warunków dofinansowania
- Monitorowanie pracy i stanu instalacji

### Zakres funkcji

- Kolorowa i przejrzysta wizualizacja lokalizacji urządzeń wchodzących w skład systemu i ich statutu roboczego, temperatur i wydajności
- Zarządzanie przez użytkownika i koncepcja obsługi dostosowana do konfiguracji systemu
- Zarządzanie alarmami i raportami emailem lub SMS
- Parametryzacja na panelu sterowniczym systemu (HMI)
- Monitoring energii i danych, dashboard, funkcja wyszukiwania

### Korzyści

- Efektywniejsza pod względem energetycznym i kosztowym praca kotła i całego systemu
- Transparentność dzięki monitoringowi energii i danych
- Zoptymalizowane sterowanie i regulacja systemów do wytwarzania energii i dystrybucji energii
- Nowoczesny intuicyjny interfejs obsługi
- System wykorzystuje wiele protokołów komunikacji
- Kolorowa i przejrzysta wizualizacja lokalizacji urządzeń wchodzących w skład systemu i ich statutu roboczego, temperatur i wydajności

## 6.6 MEC Remote



Ryc. 227 Instalacja z różnymi systemami sterowania i MEC Remote w uproszczeniu

MEC Remote umożliwia mobilne, szybkie i bezpieczne monitorowanie i sterowanie pracą kotłów wodnych i parowych. Użytkownik ma dostęp do wizualizacji zarówno lokalnie jak i przez internet, na tablecie, smartfonie i każdym innym urządzeniu z przeglądarką.

MEC Remote jest więc idealnym rozwiązaniem dla zakładów:

- w których osoby nadzorujące pracę kotłów nie mogą być stale na miejscu
- w których pracują wymagające nadzoru instalacje wielokotłowe
- czynnych w weekendy



Przegląd produktów	Kotły parowe	Odzysk ciepła odpadowego	Moduły dla kotłów parowych	Moduły do zasilania kotłów	<b>Systemy sterowania</b>
--------------------	--------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------

MEC Remote jest kompatybilny z powszechnie używanymi systemami sterowania procesami przemysłowymi. Może być także stosowany dla tych kotłów, które nie mają połączenia z systemem sterowania procesami przemysłowymi.

System wizualizacji pozwala na jednoczesny globalny monitoring parametrów instalacji przez wiele osób (posiadających odpowiednie uprawnienia). Na życzenie użytkownik może otrzymywać powiadomienia SMS lub emailem o nieprawidłowościach i zakłóceniach w działaniu urządzeń. Dzięki temu można znacznie zredukować wydatki związane z nadzorowaniem systemów, od których wymaga się wysokiej niezawodności działania, np. pracujących całodobowo.

Inną korzystną opcją dla użytkownika jest internetowe wsparcie techniczne ze strony specjalistycznego serwisu przemysłowego Bosch. Poprzez dodatkowy modem jest możliwe zdalna parametryzacja instalacji, programowanie sterowników i diagnostyka nieprawidłowości. W razie usterki komponentu instalacji można z dużym prawdopodobieństwem określić jej przyczynę i udać się na miejsce od razu z odpowiednim sprzętem, co skraca przestoje kotłów i minimalizuje koszty napraw.

Priorytetem w internetowym dostępie do danych jest zagwarantowanie maksymalnego bezpieczeństwa danych. Elastyczne zarządzanie dostępem i uprawnieniami użytkowników dzieli uprawnienia na kilka kategorii, każdy użytkownik może zyskać dostęp i ingerować w sterowanie instalacją tylko na tyle, na ile pozwalają mu jego uprawnienia. Łącze danych na zewnątrz można w każdej chwili zablokować i odblokować kluczem na komputerze w kotłowni. Dodatkowo do podania nazwy użytkownika i hasła na stronie logowania (<https://>) każda operacja wymaga autoryzacji za pomocą kodów jednorazowych (TAN). Podobnie jak w bankowości internetowej, kody dostępu są wysyłane SMS na telefon użytkownika. Zebrane dane procesowe kotłów przemysłowych nie są umieszczane w publicznej chmurze, ale zapisywane wyłącznie lokalnie w systemie kotła. Dla MEC Remote wykorzystano koncepcję zabezpieczeń opracowaną przez firmę ESCRYPT. Cykliczne audyty bezpieczeństwa przeprowadza firma Cirosec GmbH.

### Korzyści

- Dostęp do danych procesowych w każdej chwili z dowolnego miejsca na świecie
- Kotły i moduły kogeneracyjne ze wszystkich lokalizacji zebrane w jednej wizualizacji
- Szybki, wygodny i racjonalny kosztowo monitoring danych instalacji
- Zarządzanie dostępem i uprawnieniami użytkowników zapewnia całkowite bezpieczeństwo danych
- Opcjonalnie zdalne wsparcie techniczne ze strony pracowników serwisu przemysłowego Bosch
- Na życzenie powiadomienia SMS lub emailem o określonych zdarzeniach







# Narzędzia

<b>1</b>	<b>Symbole</b>	<b>381</b>
1.1	Symbole fizyczne	381
1.2	Wielkości proporcjonalne/udziały/raty	383
1.3	Operatory	383
1.4	Indeksy	383
1.5	Oznaczenia przewodów rurowych i instrumentów (P&I diagram)	385
<b>2</b>	<b>Przeliczniki dla jednostek miar</b>	<b>389</b>
2.1	Potęgi dziesiętne	389
2.2	Jednostki masy	389
2.3	Jednostki długości, powierzchni i objętości	390
2.4	Jednostki ciśnienia	391
2.5	Jednostki temperatury	391
2.6	Jednostki energii	391
<b>3</b>	<b>Paliwa</b>	<b>393</b>
3.1	Wartości charakterystyczne paliw	393
3.2	Temperatura punktu rosy spalin	395
3.3	Pinch-Point – diagram system kotłowy	396
<b>4</b>	<b>Woda-para: podstawowe zasady</b>	<b>399</b>
4.1	Ciśnienie i temperatura wrzenia	399
4.2	Tablice wody i pary	400
4.3	Gęstość	405
<b>5</b>	<b>Instalacje parowe</b>	<b>407</b>
5.1	Moc kotła parowego i moc palnika	407
5.2	Odsalanie i odmulanie	407
5.3	Wzór barometryczny	408
5.4	Przewody rurowe	408
5.5	Oznakowanie	416
5.6	Straty ciepła	417
5.7	Hałas	419
<b>6</b>	<b>Inne</b>	<b>421</b>
6.1	Stopnie ochrony obudowy IP	421





# 1 Symbole

## 1.1 Symbole fizyczne

### Najważniejsze wielkości fizyczne

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
$n$	Liczba	
$l$	Długość	mm; m
$r$	Promień	mm
$d$	Średnica	mm
$s$	Grubość ścianek	mm
$u$	Prędkość	m/s
$A$	Powierzchnia	mm <sup>2</sup> ; m <sup>2</sup>
$V$	Objętość	m <sup>3</sup>
$\dot{V}$	Objętościowe natężenie przepływu	m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_n$	Objętościowe natężenie przepływu w warunkach normalnych	m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h
$m$	Masa	kg; t
$\dot{m}$	Strumień masowy	kg/h; t/h
$Q$	Ciepło, energia	kJ; kWh; MJ; MWh
$\dot{Q}$	Moc cieplna	kW; MW
$t$	Czas	s; h; a
$T$	Temperatura	K; °C
$p$	Nadciśnienie	Pa; mbar; bar
$p_{abs}$	Ciśnienie absolutne	bara
$\rho$	Gęstość	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_n$	Gęstość w warunkach normalnych	kg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
$h$	Entalpia właściwa	kJ/kg
$r$	Entalpia właściwa parowania	kJ/kg
$c_p$	Ciepło właściwe	kJ/kgK

Tab. 35 Najważniejsze wielkości fizyczne

**Spalanie**

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
$H_i$	Dolna wartość opałowa	kWh/kg; kWh/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
$H_s$	Górna wartość opałowa (ciepło spalania)	kWh/kg; kWh/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
$\alpha$	Współczynnik kondensacji w spalinach	kg/kg
$\lambda$	Współczynnik nadmiaru powietrza	kg/kg

**Tab. 36** *Wielkości dotyczące spalania*
**Sprawność**

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
$\eta$	Sprawność	%
$q_A$	Strata kominowa w odniesieniu do wartości opałowej $H_i$	%
$\eta_a$	Sprawność całoroczna	%

**Tab. 37** *Sprawność*
**Wymiana ciepła**

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
$\lambda$	Współczynnik przewodzenia ciepła	W/mK
$\alpha$	Współczynnik przejmowania ciepła	W/m <sup>2</sup> K
$k$	Współczynnik przenikania ciepła	W/m <sup>2</sup> K

**Tab. 38** *Wymiana ciepła*
**Mechanika płynów**

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
$\zeta$	Współczynnik strat ciśnienia	
$\lambda$	Współczynnik tarcia dla rur	

**Tab. 39** *Mechanika płynów*
**Inne**

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
$\alpha$	Współczynnik rozszerzalności cieplnej	mm/(m · 100K)
$L$	Przewodność elektryczna	μS/cm

**Tab. 40** *Inne*



## 1.2 Wielkości proporcjonalne/udziały/raty

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
a	Udział odsolin = $m_{ods} / m_{para, kocioł}$	kg/kg
c	Udział kondensatu = $m_{kond, całk} / m_{para}$	kg/kg
z	Udział wody uzupełniającej = $m_{w.uzup} / m_{para}$	kg/kg
x	Udział masowy	kg/kg
y	Udział objętościowy lub molowy	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

Tab. 41 Wielkości proporcjonalne

## 1.3 Operatory

Symbol	Wielkość fizyczna	Jednostka
Δ	Różnica	
·	Strumień	np. kg/h; kg/s, ...

Tab. 42 Operatory

## 1.4 Indeksy

### Ogólne

Symbol	Wielkość fizyczna
min	minimalny
max	maksymalny
m	średni
zul	dopuszczalny
ges	całkowity
st	stechiometryczny
abs	absolutny
n	normalny (w warunkach normalnych)
b	roboczy (w warunkach roboczych)
v	strata

Tab. 43 Indeksy ogólne

**Stan wody/pary**

Symbol	Opis stanu
S	Nasycony (stan wrzenia)
'	Ciekły nasycony (wrząca woda)
”	Parowy nasycony, para nasycona

**Tab. 44** Stan wody/pary

**Miejsce/przyrząd/element instalacji**

Symbol	Opis
Z.BEZ	Zawór bezpieczeństwa
OGR.CIŚN	Ogranicznik ciśnienia
K	Kocioł
Inst	Instalacja (z kotłem parowym)
RUR	Rurociąg, przewód rurowy
A	Armatura
odb	Odbiór pary
odb,bezp	Odbiór bezpośredni
odb,pośr	Odbiór niebezpośredni
potrz.wł	Zapotrzebowanie na potrzeby własne
str	Straty ciepła
rozpr	Para/straty z rozprężania
wym.c	Wymiennik ciepła
środ	Środowisko (otoczenie)
WT	Wymiennik ciepła
Umg	Otoczenie

**Tab. 45** Miejsce/przyrząd/element instalacji

**Czynniki robocze/ media**

Symbol	Opis
pow	Powietrze
spal	Spaliny
w.uzup	Woda uzupełniająca
w.tech	Woda technologiczna
w.zas	Woda zasilająca





Symbol	Opis
para	Para
para, podgrz	Para do podgrzewania (zbiornika wody zasilającej)
ods	Odsoliny
op	Opary
kond	Kondensat
kond, tlen	Kondensat zawierający tlen
kond, od tlen	Kondensat odtleniony (beztlenowy)

Tab. 46 Czynniki robocze/media

## 1.5 Oznaczenia przewodów rurowych i instrumentów (P&I diagram)

Litera	Kategoria	Funkcja przetwarzania
A	Analiza	Alarm, sygnalizacja
B	Pomiar optyczny (np. monitorowanie płomienia)	Ograniczenie
C	Regelung	Regulacja
D	Gęstość	Różnica
E	Napięcie elektryczne	- (Nie wolno używać)
F	Przepływ	Proporcja
G	Odległość, długość, pozycja	- (Nie wolno używać)
H	Ręczne wprowadzanie, ręczna ingerencja	Górny limit, włączenie, otwarcie
I	Prąd elektryczny	Wskaźnik analogowy
J	Moc elektryczna	- (Nie wolno używać)
K	Wartości w funkcji czasu	Wielkość zmian w czasie, np. do przyspieszenia lub obliczenia potrąceń
L	Stan napełnienia	Dolny limit, wyłączenie, zamknięcie
M	Wilgotność	- (Nie wolno używać)
N	Uruchamianie elektryczne (wszystkie odbiorniki elektroniczne, jak np. napędy, ogrzewanie)	- (Nie wolno używać)
O	-	Wyświetlanie statusu zmiennych binarnych lokalnie lub z PCS
P	Ciśnienie	Połączenie (testowe) w punkcie
Q	Ilość lub liczba, właściwości substancji*, cechy jakościowe*, analiza* (oprócz D, M, V)	Całka, ilość lub suma

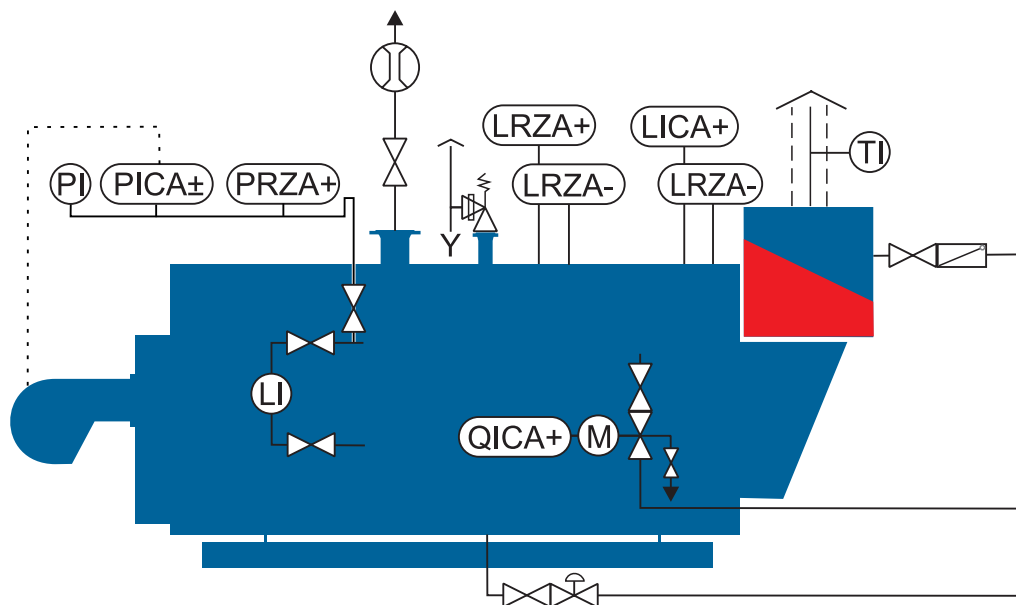
Litera	Kategoria	Funkcja przetwarzania
R	Wielkości promieniowania	Wartość zapisana
S	Prędkość lub częstotliwość (włącznie z przyspieszeniem)	Binarna funkcja sterowania lub przełączania (nieistotna dla bezpieczeństwa)
T	Temperatura	- (Nie wolno używać)
U	-	- (Nie wolno używać)
V	Drgania, analiza mechaniczna, moment obrotowy	- (Nie wolno używać)
W	Ciężar, masa, siła	- (Nie wolno używać)
X	- (Dla niewymienionych znaczeń)	- (Dla niewymienionych znaczeń)
Y	Uruchamianie hydrauliczne lub pneumatyczne (przełączanie, zmiana, ograniczenie np. przez zawór regulacyjny)	Funkcja arytmetyczna
Z	-	Binarna funkcja sterowania lub przełączania (istotna dla bezpieczeństwa)

**Tab. 47** Oznaczenia przewodów rurowych i instrumentów

Użyte litery identyfikacyjne dla elektrycznych przyrządów pomiarowych, sterowniczych i regulacyjnych są zgodne z EN 62424:2014-05.

\* Znaczenie litery Q przyjęto ze starszej wersji DIN 19227-1 1993-10.

**Przykładowy schemat oprzyrządowania kotła parowego z użyciem wymaganej nomenklatury:**



**Ryc. 228** Oprzyrządowanie kotła parowego



## Przykład 1:

	Ogranicznik ciśnienia	P	R	Z	A+
Kategoria	Ciśnienie				
Tryb przetwarzania	Zapis				
	Funkcja przełączania (istotna dla bezp.)				
	Alarm, sygnalizacja (maks.)				

## Przykład 2:

	Regulator odsalania	Q	I	C	A+
Kategoria	Właściwość substancji, cechy jakościowe				
Tryb przetwarzania	Wskazanie				
	Regulacja				
	Alarm, sygnalizacja (maks.)				





## 2 Przeliczniki dla jednostek miar

### 2.1 Potęgi dziesiętne

Przedrostek	Potęga	Symbol	
<b>Eksa</b>	$10^{18}$	E	x 1 000 000 000 000 000 000
<b>Peta</b>	$10^{15}$	P	x 1 000 000 000 000 000
<b>Tera</b>	$10^{12}$	T	x 1 000 000 000 000
<b>Giga</b>	$10^9$	G	x 1 000 000 000
<b>Mega</b>	$10^6$	M	x 1 000 000
<b>Kilo</b>	$10^3$	k	x 1 000
<b>Hekto</b>	$10^2$	h	x 100
<b>Deka</b>	$10^1$	da	x 10
<b>Decy</b>	$10^{-1}$	d	/ 10
<b>Centy</b>	$10^{-2}$	c	/ 100
<b>Mili</b>	$10^{-3}$	m	/ 1 000
<b>Mikro</b>	$10^{-6}$	$\mu$	/ 1 000 000
<b>Nano</b>	$10^{-9}$	n	/ 1 000 000 000
<b>Piko</b>	$10^{-12}$	p	/ 1 000 000 000 000
<b>Femto</b>	$10^{-15}$	f	/ 1 000 000 000 000 000
<b>Atto</b>	$10^{-18}$	a	/ 1 000 000 000 000 000 000

Tab. 48 Potęgi dziesiętne

### 2.2 Jednostki masy

#### Kalkulator jednostek masy

z	na	kg	t	lb
kg	10		0,01	22,0462
t	1	1 000		2 204,62
lb	NaN	0,4535929	0,0004535	

Tab. 49 Kalkulator jednostek masy

## 2.3 Jednostki długości, powierzchni i objętości

### Kalkulator jednostek długości

From \ To	m	in	ft	yd
m 1		39,370079	3,2808399	1,0936133
in 1	0,0253999		0,0833333	0,0277777
ft 1	0,3047999	12		0,3333333
yd 1	0,9143999	36	3	

Tab. 50 Kalkulator jednostek długości

### Kalkulator jednostek długości

From \ To	m <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	yd <sup>2</sup>
m <sup>2</sup> 1		1 550,0031	10,763910	1,1959900
in <sup>2</sup> 1	0,0006451		0,0069444	0,0007716
ft <sup>2</sup> 1	0,0929030	144		0,1111111
yd <sup>2</sup> 1	0,8361273	1 296	9	

Tab. 51 Kalkulator jednostek powierzchni

### Kalkulator jednostek długości

From \ To	m <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>	yd <sup>3</sup>
m <sup>3</sup> 1		61 023,745	35,314666	1,3079506
in <sup>3</sup> 1	1,638·10 <sup>-5</sup>		0,0005787	2,143·10 <sup>-5</sup>
ft <sup>3</sup> 1	0,0283168	1 728		0,0370370
yd <sup>3</sup> 1	0,7645548	46 656	27	

Tab. 52 Kalkulator jednostek objętości

### Współczynnik przeliczeniowe:

- Długość = współczynnik przeliczeniowy x
- Powierzchnia = współczynnik przeliczeniowy x<sup>2</sup>
- Objętość = współczynnik przeliczeniowy x<sup>3</sup>





## 2.4 Jednostki ciśnienia

### Kalkulator jednostek długości

From \ To	bar	atm	m WS	m Hg	psi	kgf/cm <sup>2</sup>
bar	1	0,986923	10,1972	0,7502	14,503769	1,0194
atm	1,0132502	1	10,332315	0,7601403	14,695948	1,0329073
m WS	0,0980661	0,0967837	1	0,0735692	1,4223286	0,0999686
m Hg	1,3329778	1,3155465	13,592641	1	19,333204	1,3588376
psi	0,0689475	0,0680459	0,7030723	0,0517244	1	0,0702851
kgf/cm <sup>2</sup>	0,9809691	0,9681410	10,003139	0,7359230	14,227751	1

Tab. 53 Kalkulator jednostek ciśnienia

Zależność wyprowadzonych jednostek SI:

bar = 1 000 mbar = 10<sup>5</sup> Pa (N/mm<sup>2</sup>)

## 2.5 Jednostki temperatury

### Kalkulator jednostek długości

From \ To	K	°C	°F
K	300	26,850000	80,330000
°C	274,15	1	33,8
°F	255,92777	-17,22222	1

Tab. 54 Kalkulator jednostek temperatury

## 2.6 Jednostki energii

### Kalkulator jednostek długości

From \ To	kJ	kWh	kcal	PSh	BTU	t SKE
kJ	1	0,0002777	0,23901	0,0003774	0,94787	3,412·10 <sup>-8</sup>
kWh	3 600	1	860,436	1,35864	3 412,332	0,0001228
kcal	4,1839253	0,0011622	1	0,0015790	3,9658173	1,427·10 <sup>-7</sup>
PSh	2 649,7085	0,7360301	633,30683	1	2 511,5792	9,040·10 <sup>-5</sup>
BTU	1,0549969	0,0002930	0,2521548	0,0003981	1	3,599·10 <sup>-8</sup>
t SKE	2,930·10 <sup>7</sup>	8 141,2009	7,004·10 <sup>6</sup>	11 060,961	2,778·10 <sup>7</sup>	1

Tab. 55 Kalkulator jednostek energii





## 3 Paliwa

### 3.1 Wartości charakterystyczne paliw

#### 3.1.1 Paliwa gazowe

Współczynnik nadmiaru powietrza	$\lambda$	1,20	Wprowadzone dane	Wynik
Gęstość normalna powietrza	$\rho_{n,pow}$ [kg/m <sup>3</sup> <sub>n,pow</sub> ]	1,293		

Parametr paliwa	Jedn.	Gaz ziemny LL	Gaz ziemny E	Propan	Propan Butan	Butan	Gaz ziemny GZ35	Gaz ziemny GZ41,5	Gaz ziemny GZ50	
Dolna wartość opałowa	$H_i$	$\frac{kWh}{kg_B}$	10,65	13,20	12,87	12,83	12,70	7,98	9,65	10,86
	$H_i$	$\frac{kWh}{m^3_{n,B}}$	8,83	10,35	25,89	27,96	34,39	7	8	9
Górna wartość opałowa	$H_S$	$\frac{kWh}{kg_B}$	11,80	14,62	13,98	13,92	13,75	8,86	10,80	12,01
	$H_S$	$\frac{kWh}{m^3_{n,B}}$	9,78	11,46	28,12	30,34	37,23	7,77	8,95	9,95
Gęstość normalna paliwa	$\rho_{n,pal}$	$\frac{kg}{m^3_{n,B}}$	0,829	0,784	2,011	2,18	2,708	0,877	0,829	0,829
Zapotrzebowanie na powietrze (suche)	$POW_{st}$	$\frac{kg_L}{kg_B}$	13,10	16,24	15,57	15,51	15,36	9,84	13,10	13,10
Gęstość normalna spalin	$\rho_{n,spal,st}$ ( $\lambda=1$ )	$\frac{kg}{m^3_{n,AG}}$	1,2366	1,2374	1,2650	1,2664	1,2699	1,2346	1,2366	1,2366
Gęstość normalna spalin	$\rho_{n,spal}$	$\frac{kg}{m^3_{n,AG}}$	1,2451	1,2459	1,2693	1,2706	1,2735	1,2432	1,2451	1,2451
Liczba Wobbego	$W_i$	$\frac{kWh}{m^3}$	11,03	13,29	20,76	21,53	23,76	8,50	9,99	11,24
Punkt rosy	$t_{kond}$	°C	56,9	57,0	53,1	52,9	52,4	56,7	56,9	56,9
Wytwarzanie wody <sup>1)</sup>	$W_{wlaśc,H2O}$	$\frac{g_{H2O}}{kWh}$	159,4	158,5	126,9	125,4	122,0	161,8	176,0	156,4
Emisja CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$W_{wlaśc,CO2}$	$\frac{g_{CO2}}{kWh}$	201,3	202,6	232,6	234,3	238,5	197,6	222,2	197,5
Emisja SO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$W_{wlaśc,SO2}$	$\frac{mg_{SO2}}{kWh}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strumień masowy spalin <sup>1)</sup>	$\dot{m}_{wlaśc}$	$\frac{kg_{AG}}{kWh}$	1,5700	1,5523	1,5291	1,5288	1,5299	1,6052	1,7329	1,5403

Tab. 56 Paliwa gazowe

<sup>1)</sup> w odniesieniu do  $H_i$

### 3.1.2 Paliwa ciekłe

Współczynnik nadmiaru powietrza	$\lambda$	1,20	Wprowadzone dane	Wynik
Gęstość normalna powietrza	$\rho_{n,pow}$ [kg/m <sup>3</sup> <sub>n,pow</sub> ]	1,293		

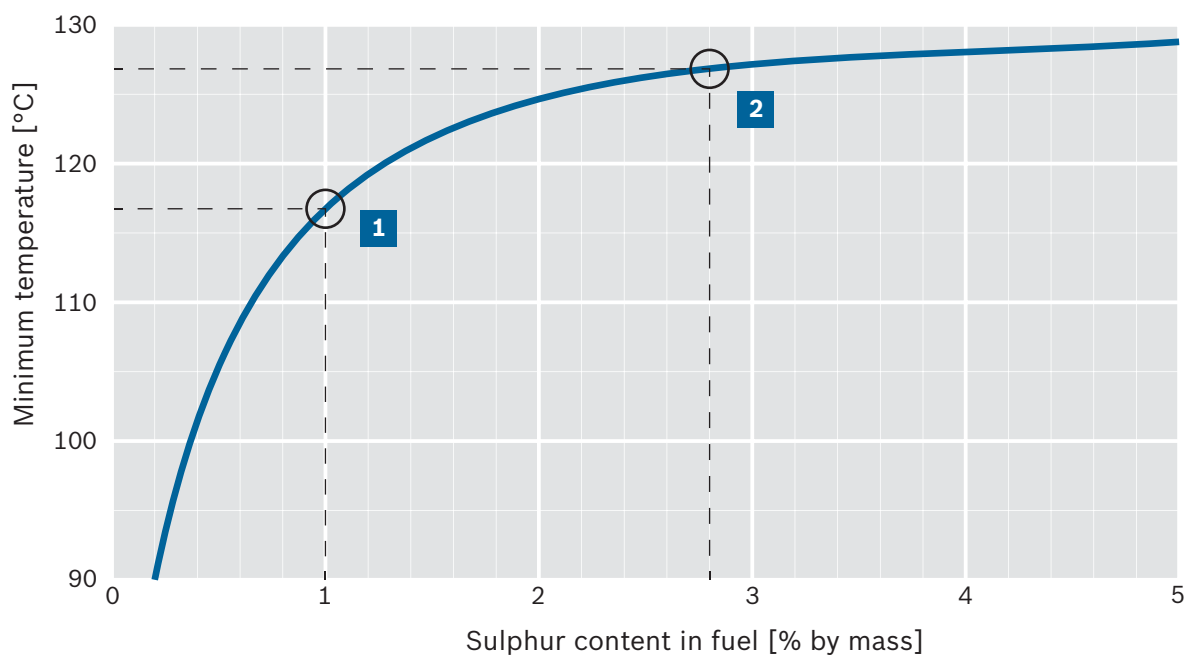
Parametr paliwa	Jedn.	Olej opałowy lekki EL	Olej opałowy lekki EL o niskiej zawarości siarki	Olej opałowy SA	Olej średni HL Schwechat	Olej średni CLU3	
Dolna wartość opałowa	$H_i$	$\frac{kWh}{kg_B}$	11,89	11,89	11,28	11,64	11,40
	$H_i$	$\frac{kWh}{l}$	9,91	9,91	10,98	9,70	10,59
Górna wartość opałowa	$H_S$	$\frac{kWh}{kg_B}$	12,70	12,70	11,96	12,38	12,05
	$H_S$	$\frac{kWh}{l}$	10,59	10,59	11,64	10,32	11,19
Gęstość normalna paliwa	$\rho_{n,pal}$	$\frac{kg}{m^3}$	833,6	833,6	973,6	833,6	928,6
Zapotrzebowanie na powietrze (suche)	$Pow_{st}$	$\frac{kg_L}{kg_B}$	14,45	14,46	13,89	14,19	13,71
Gęstość normalna spalin	$\rho_{n,spal, st}$ ( $\lambda=1$ )	$\frac{kg}{m^3_{n,AG}}$	1,2923	1,2923	1,3063	1,2996	1,3097
Gęstość normalna spalin	$\rho_{n,spal}$	$\frac{kg}{m^3_{n,AG}}$	1,2924	1,2924	1,3042	1,2985	1,3071
Temperatura punktu rosy	$t_{kond}$	°C	48,6	48,6	46,0	47,2	45,4
Temperatura punktu rosy kwasu	$t_{kwas,kond}$	°C	124,0	97,3	136,4	123,2	141,5
Wytwarzanie wody <sup>1)</sup>	$W_{wlaśc,H2O}$	$\frac{g_{H2O}}{kWh}$	100,5	100,5	88,7	93,7	83,9
Emisja CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$W_{wlaśc,CO2}$	$\frac{g_{CO2}}{kWh}$	266,4	266,9	285,2	275,8	280,6
Emisja SO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$W_{wlaśc,SO2}$		108,4	2,6	597,9	99,2	1 213,8
Strumień masowy spalin <sup>1)</sup>	$m_{wlaśc}$	$\frac{kg_{AG}}{kWh}$	1,5420	1,5434	1,5668	1,5484	1,5311

Tab. 57 Paliwa ciekłe

<sup>1)</sup> w odniesieniu do  $H_i$



### 3.2 Temperatura punktu rosy spalin

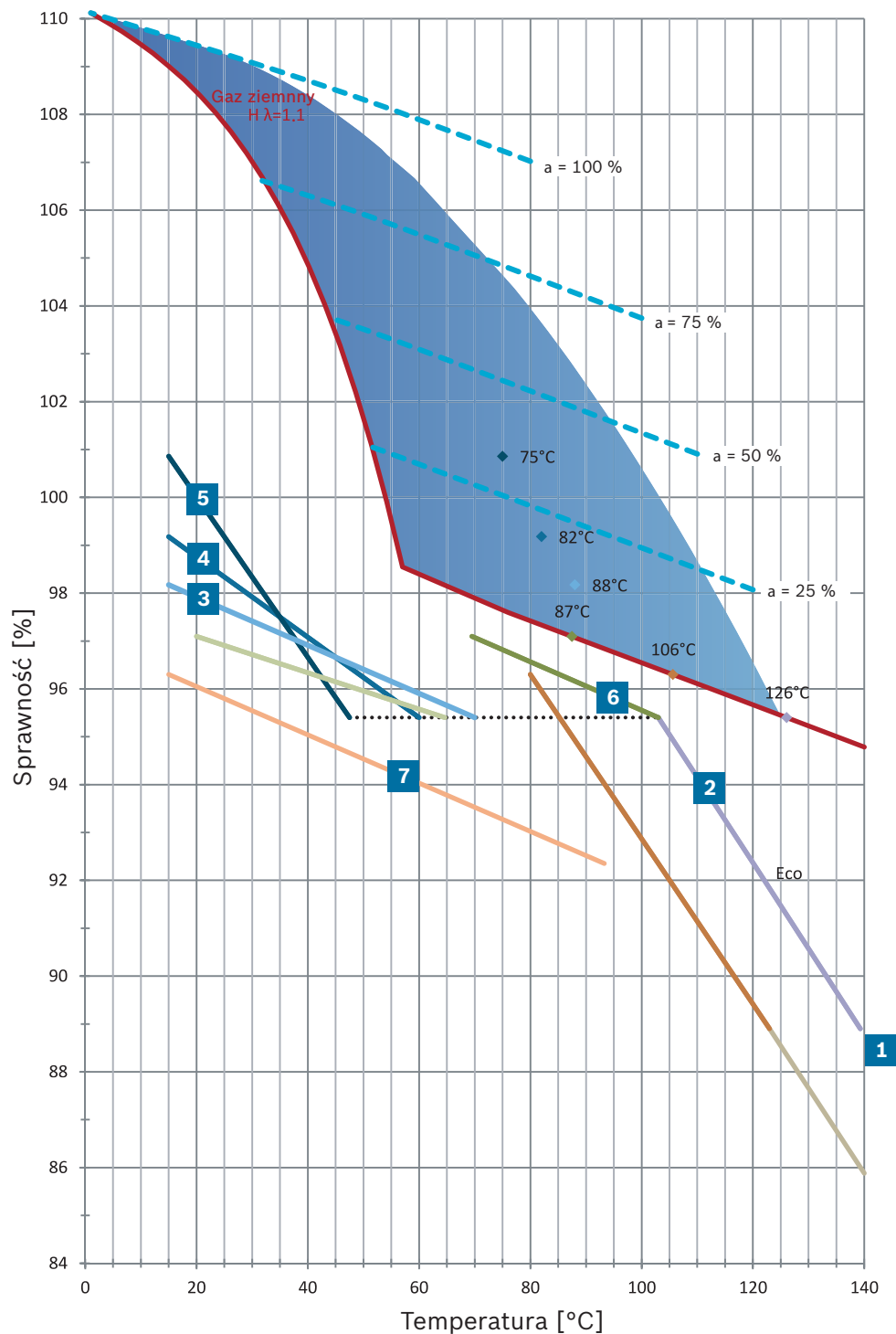


Ryc. 229 Minimalna temperatura wody zasilającej w zależności od zawartości siarki w paliwie

- 1** Olej opałowy SA
- 2** Olej opałowy S

### 3.3 Pinch-Point – diagram system kotłowy

#### 3.3.1 Pinch-Point – diagram dla gazu



Ryc. 230 Wykres punktu zbliżenia dla gazu

- 1** Kocioł
- 2** Kocioł + ekonomizer
- 3** Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $z = 0,3 / \alpha = 12 \%$ )





- 4** Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $z = 0,5 / \alpha = 20 \%$ )
- 5** Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $z = 1 / \alpha = 34 \%$ )
- 6** Kocioł + ekonomizer + podgrzew powietrza (20 °C do 65 °C)
- 7** Kocioł + ekonomizer + chłodzenie wody zasilającej ( $z = 0,3$ )

**Przykład:**

Udział kondensatu	$c = \dot{m}_{\text{kond}} / \dot{m}_{\text{para}}$
Udział wody uzupełniającej	$z = 1 - c$
UL-S	10 000 x 16
Wydajność produkcyjna kotła parowego	10 000 kg/h przy $p_{\text{sr}} = 13 \text{ bar}$
Udział odsolin	5 %

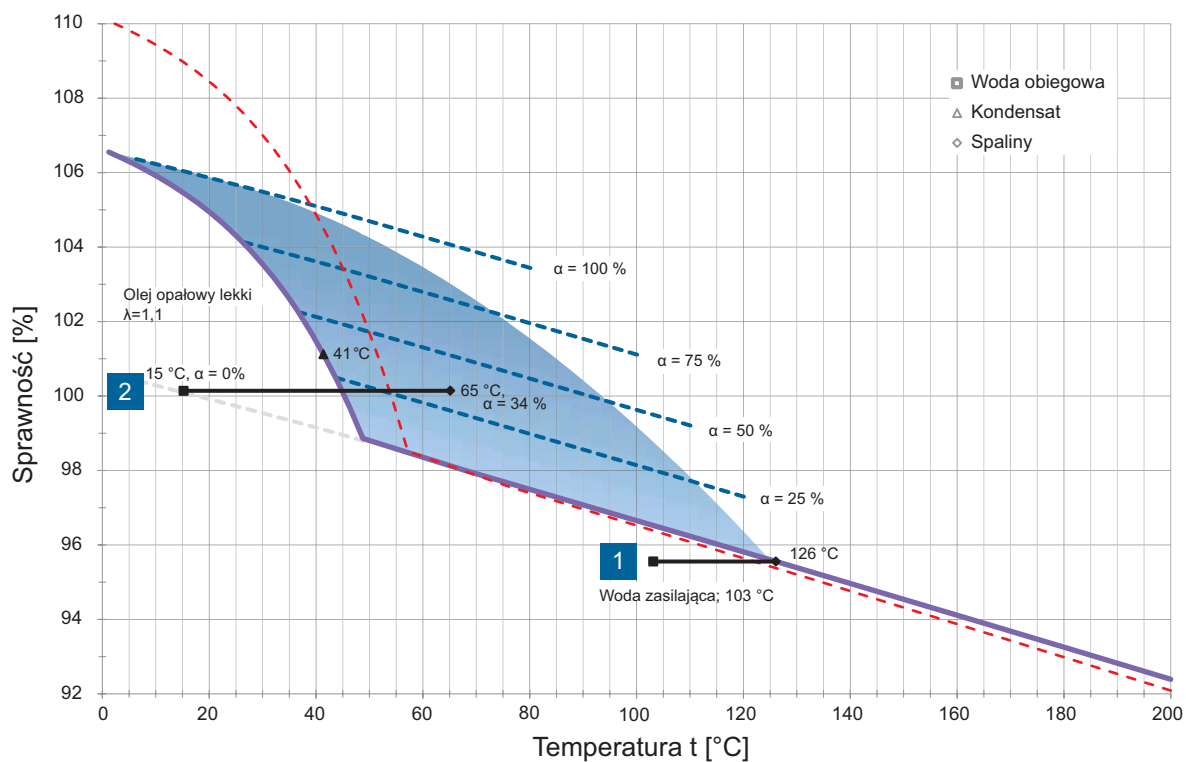
Opcja	Komponenty	Sprawność	
		Komponenty	Ogółem
1	Kocioł	88,9 %	---
2	Kocioł + ekonomizer	88,9 % + 6,5 %	95,4 %
3	Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $z^1 = 0,3 / \alpha^1 = 12 \%$ )	88,9 % + 6,5 % + 2,8 %	98,2 %
4	Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $z = 0,5 / \alpha = 20 \%$ )	88,9 % + 6,5 % + 3,8 %	99,2 %
5	Kocioł + ekonomizer + ekonomizer kondensacyjny ( $z = 1 / \alpha = 34 \%$ )	88,9 % + 6,5 % + 7,6 %	100,9 %
6	Kocioł + ekonomizer + podgrzew powietrza (20 °C do 65 °C)	88,9 % + 6,5 % + 1,7 %	97,1 %
7	Kocioł + ekonomizer + chłodzenie wody zasilającej ( $z = 0,3$ )	88,9 % + 6,5 % + 0,6 %	96,0 %

**Tab. 58** Przykłady konfiguracji do optymalnego odzysku ciepła

<sup>1)</sup> z = Udział wody uzupełniającej

<sup>2)</sup> α = Udział kondensatu

### 3.3.2 Pinch-Point – diagram dla oleju



Ryc. 231 Wykres punktu zbliżenia dla oleju

- 1** Kocioł
- 2** Kocioł + ekonomizer

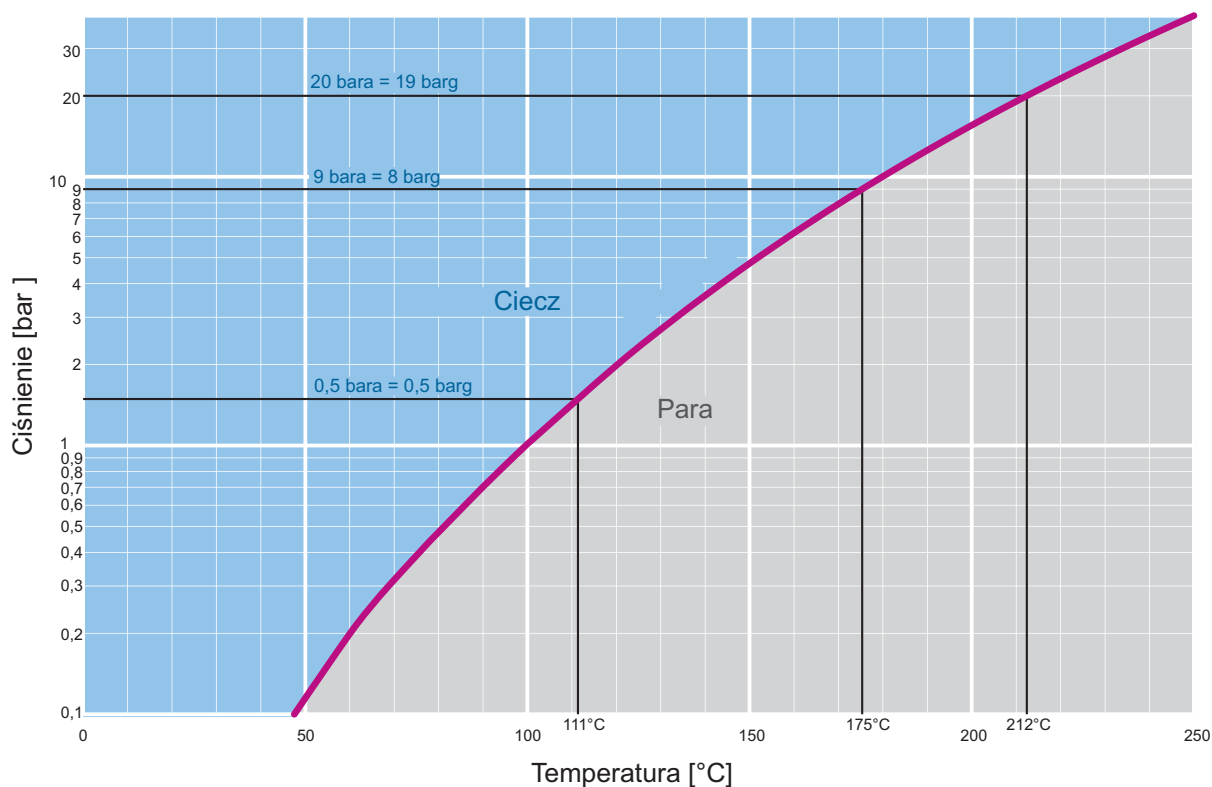


## 4 Woda-para: podstawowe zasady

### 4.1 Ciśnienie i temperatura wrzenia

Wykres przedstawia zmiany temperatury wrzenia w zależności od ciśnienia wraz z linią wrzenia. Należy wziąć pod uwagę wskazówki dotyczące odczytywania wykresów logarytmicznych.

→ Narzędzia – Rozdział 4.3.1: Odczytywanie wykresów logarytmicznych, strona 406



Ryc. 232 Wykres (logarytmiczny) zależności temperatury wrzenia wody od ciśnienia z linią wrzenia i obszarami pary i wody

## 4.2 Tablice wody i pary

### 4.2.1 Parametry fizyczne wody i pary zgodnie ze standardem IAPWS IF-97

Nadciśnienie	Ciśnienie absolutne	Temperatura wrzenia	Entalpia			Gęstość	
			wody	pary nasyconej	parowania	wody	pary nasyconej
p [bar <sub>g</sub> ]	p [bar <sub>a</sub> ]	t [°C]	h' [kJ/kgK]	h" [kJ/kgK]	r [kJ/kgK]	ρ' [kg/m <sup>3</sup> ]	ρ" [kg/m <sup>3</sup> ]
-0,9	0,1	45,8	191,8	2 583,9	2 392,1	989,8	0,0682
-0,8	0,2	60,1	251,4	2 608,9	2 357,5	983,1	0,1308
-0,7	0,3	69,1	289,2	2 624,6	2 335,3	978,3	0,1913
-0,6	0,4	75,9	317,6	2 636,1	2 318,5	974,3	0,2504
-0,5	0,5	81,3	340,5	2 645,2	2 304,7	971,0	0,3086
-0,4	0,6	85,9	359,8	2 652,9	2 293,0	968,0	0,3661
-0,3	0,7	89,9	376,7	2 659,4	2 282,7	965,4	0,4229
-0,2	0,8	93,5	391,6	2 665,2	2 273,5	962,9	0,4791
-0,1	0,9	96,7	405,1	2 670,3	2 265,2	960,7	0,5349
0,0	1,0	99,6	417,4	2 674,9	2 257,5	958,6	0,5903
0,1	1,1	102,3	428,8	2 679,2	2 250,4	956,7	0,6453
0,2	1,2	104,8	439,3	2 683,1	2 243,8	954,9	0,7001
0,3	1,3	107,1	449,1	2 686,6	2 237,5	953,1	0,7545
0,4	1,4	109,3	458,4	2 690,0	2 231,6	951,5	0,8086
0,5	1,5	111,4	467,1	2 693,1	2 226,0	949,9	0,8625
0,6	1,6	113,3	475,3	2 696,0	2 220,7	948,4	0,9162
0,7	1,7	115,1	483,2	2 698,8	2 215,6	947,0	0,9697
0,8	1,8	116,9	490,7	2 701,4	2 210,7	945,6	1,0230
0,9	1,9	118,6	497,8	2 703,9	2 206,1	944,2	1,0761
1,0	2,0	120,2	504,7	2 706,2	2 201,6	942,9	1,1290
1,5	2,5	127,4	535,4	2 716,5	2 181,2	937,0	1,3914
2,0	3,0	133,5	561,5	2 724,9	2 163,4	931,8	1,6507
2,5	3,5	138,9	584,3	2 732,0	2 147,7	927,1	1,9077
3,0	4,0	143,6	604,7	2 738,1	2 133,3	922,9	2,1627
3,5	4,5	147,9	623,2	2 743,4	2 120,2	919,0	2,4160
4,0	5,0	151,8	640,2	2 748,1	2 107,9	915,3	2,6681
4,5	5,5	155,5	655,9	2 752,3	2 096,5	911,8	2,9189
5,0	6,0	158,8	670,5	2 756,1	2 085,6	908,6	3,1688



Nadciśnienie	Ciśnienie absolutne	Temperatura wrzenia	Entalpia			Gęstość	
			wody	pary nasyconej	parowania	wody	pary nasyconej
p [bar <sub>g</sub> ]	p [bar <sub>a</sub> ]	t [°C]	h' [kJ/kgK]	h" [kJ/kgK]	r [kJ/kgK]	ρ' [kg/m <sup>3</sup> ]	ρ" [kg/m <sup>3</sup> ]
6,0	7,0	165,0	697,1	2 762,7	2 065,6	902,6	3,6662
7,0	8,0	170,4	721,0	2 768,3	2 047,3	897,0	4,1610
8,0	9,0	175,4	742,7	2 773,0	2 030,3	891,9	4,6539
9,0	10,0	179,9	762,7	2 777,1	2 014,4	887,1	5,1454
10,0	11,0	184,1	781,2	2 780,7	1 999,5	882,6	5,6358
11,0	12,0	188,0	798,5	2 783,8	1 985,3	878,3	6,1256
12,0	13,0	191,6	814,8	2 786,5	1 971,7	874,3	6,6149
13,0	14,0	195,0	830,1	2 788,9	1 958,8	870,4	7,1039
14,0	15,0	198,3	844,7	2 791,0	1 946,3	866,6	7,5929
15,0	16,0	201,4	858,6	2 792,9	1 934,3	863,1	8,0820
16,0	17,0	204,3	871,9	2 794,5	1 922,6	859,6	8,5713
17,0	18,0	207,1	884,6	2 796,0	1 911,4	856,2	9,0611
18,0	19,0	209,8	896,8	2 797,3	1 900,4	853,0	9,5513
19,0	20,0	212,4	908,6	2 798,4	1 889,8	849,8	10,0421
20,0	21,0	214,9	920,0	2 799,4	1 879,4	846,7	10,5336
21,0	22,0	217,3	931,0	2 800,2	1 869,2	843,7	11,0259
22,0	23,0	219,6	941,6	2 800,9	1 859,3	840,8	11,5191
23,0	24,0	221,8	952,0	2 801,5	1 849,6	837,9	12,0132
24,0	25,0	224,0	962,0	2 802,0	1 840,1	835,1	12,5082
25,0	26,0	226,1	971,7	2 802,5	1 830,7	832,4	13,0044
26,0	27,0	228,1	981,2	2 802,8	1 821,5	829,7	13,5016
27,0	28,0	230,1	990,5	2 803,0	1 812,5	827,0	14,0000
28,0	29,0	232,0	999,5	2 803,2	1 803,6	824,4	14,4997
29,0	30,0	233,9	1 008,4	2 803,3	1 794,9	821,9	15,0006
30,0	31,0	235,7	1 017,0	2 803,3	1 786,3	819,4	15,5028
31,0	32,0	237,5	1 025,5	2 803,2	1 777,8	816,9	16,0064
32,0	33,0	239,2	1 033,7	2 803,1	1 769,4	814,5	16,5115
33,0	34,0	240,9	1 041,8	2 803,0	1 761,1	812,1	17,0180
34,0	35,0	242,6	1 049,8	2 802,7	1 753,0	809,7	17,5260

Tab. 59 Parametry fizyczne wody i pary zgodnie ze standardem IAPWS IF-97<sup>1)</sup>

1) Źródło: <http://www.iapws.org/relguide/IF97-rev.pdf>

Nadciśnienie	Temperatura wrzenia	Lepkość dynamiczna		Przewodność cieplna	
		wody	pary nasyconej	wody	pary nasyconej
		$\eta'$ [ $\mu$ Pas]	$\eta''$ [ $\mu$ Pas]	$\lambda'$ [W/mK]	$\lambda''$ [W/mK]
p [bar <sub>g</sub> ]	t °C				
-0,9	45,8	587,5	10,49	0,6357	0,0199
-0,8	60,1	465,9	10,94	0,6508	0,0211
-0,7	69,1	408,9	11,23	0,6588	0,0219
-0,6	75,9	373,5	11,45	0,6641	0,0225
-0,5	81,3	348,6	11,64	0,6678	0,0230
-0,4	85,9	329,7	11,79	0,6707	0,0234
-0,3	89,9	314,7	11,93	0,6730	0,0238
-0,2	93,5	302,3	12,05	0,6748	0,0241
-0,1	96,7	291,9	12,16	0,6763	0,0245
0,0	99,6	282,9	12,26	0,6776	0,0248
0,1	102,3	275,1	12,35	0,6787	0,0250
0,2	104,8	268,2	12,43	0,6796	0,0253
0,3	107,1	262,0	12,51	0,6804	0,0255
0,4	109,3	256,4	12,59	0,6811	0,0258
0,5	111,4	251,4	12,66	0,6817	0,0260
0,6	113,3	246,8	12,73	0,6822	0,0262
0,7	115,1	242,5	12,79	0,6826	0,0264
0,8	116,9	238,6	12,85	0,6830	0,0266
0,9	118,6	235,0	12,91	0,6834	0,0268
1,0	120,2	231,6	12,96	0,6836	0,0270
1,5	127,4	217,5	13,21	0,6846	0,0278
2,0	133,5	206,8	13,42	0,6849	0,0286
2,5	138,9	198,3	13,61	0,6849	0,0293
3,0	143,6	191,2	13,77	0,6846	0,0299
3,5	147,9	185,2	13,92	0,6842	0,0305
4,0	151,8	180,1	14,05	0,6836	0,0310
4,5	155,5	175,5	14,18	0,6829	0,0316
5,0	158,8	171,6	14,30	0,6821	0,0320
6,0	165,0	164,7	14,51	0,6804	0,0330
7,0	170,4	159,1	14,70	0,6786	0,0338
8,0	175,4	154,3	14,87	0,6766	0,0346
9,0	179,9	150,2	15,02	0,6747	0,0354



Nadciśnienie	Temperatura wrzenia	Lepkość dynamiczna		Przewodność cieplna	
		wody	pary nasyconej	wody	pary nasyconej
p [bar <sub>a</sub> ]	t °C	$\eta'$ [μPas]	$\eta''$ [μPas]	$\lambda'$ [W/mK]	$\lambda''$ [W/mK]
10,0	184,1	146,6	15,17	0,6726	0,0361
11,0	188,0	143,4	15,30	0,6706	0,0368
12,0	191,6	140,5	15,43	0,6686	0,0375
13,0	195,0	137,9	15,54	0,6665	0,0381
14,0	198,3	135,5	15,66	0,6645	0,0388
15,0	201,4	133,3	15,76	0,6625	0,0394
16,0	204,3	131,3	15,86	0,6604	0,0400
17,0	207,1	129,5	15,96	0,6584	0,0405
18,0	209,8	127,7	16,05	0,6564	0,0411
19,0	212,4	126,1	16,14	0,6544	0,0416
20,0	214,9	124,6	16,23	0,6525	0,0422
21,0	217,3	123,1	16,31	0,6505	0,0427
22,0	219,6	121,8	16,40	0,6486	0,0432
23,0	221,8	120,5	16,47	0,6466	0,0438
24,0	224,0	119,3	16,55	0,6447	0,0443
25,0	226,1	118,1	16,62	0,6428	0,0448
26,0	228,1	117,0	16,70	0,6409	0,0453
27,0	230,1	115,9	16,77	0,6390	0,0457
28,0	232,0	114,9	16,84	0,6372	0,0462
29,0	233,9	114,0	16,90	0,6353	0,0467
30,0	235,7	113,0	16,97	0,6335	0,0472
31,0	237,5	112,1	17,03	0,6316	0,0476
32,0	239,2	111,3	17,10	0,6298	0,0481
33,0	240,9	110,4	17,16	0,6280	0,0486
34,0	242,6	109,6	17,22	0,6262	0,0490

Tab. 60 Parametry fizyczne wody i pary zgodnie ze standardem IAPWS IF-97<sup>1)</sup>

1) Źródło: <http://www.iapws.org/relguide/IF97-rev.pdf>



### 4.2.2 Para wtórna z rozprężenia

$$x = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{h - h'}{r}$$



**Wzór 38** Równanie na obliczenie udziału masowego pary wtórnej

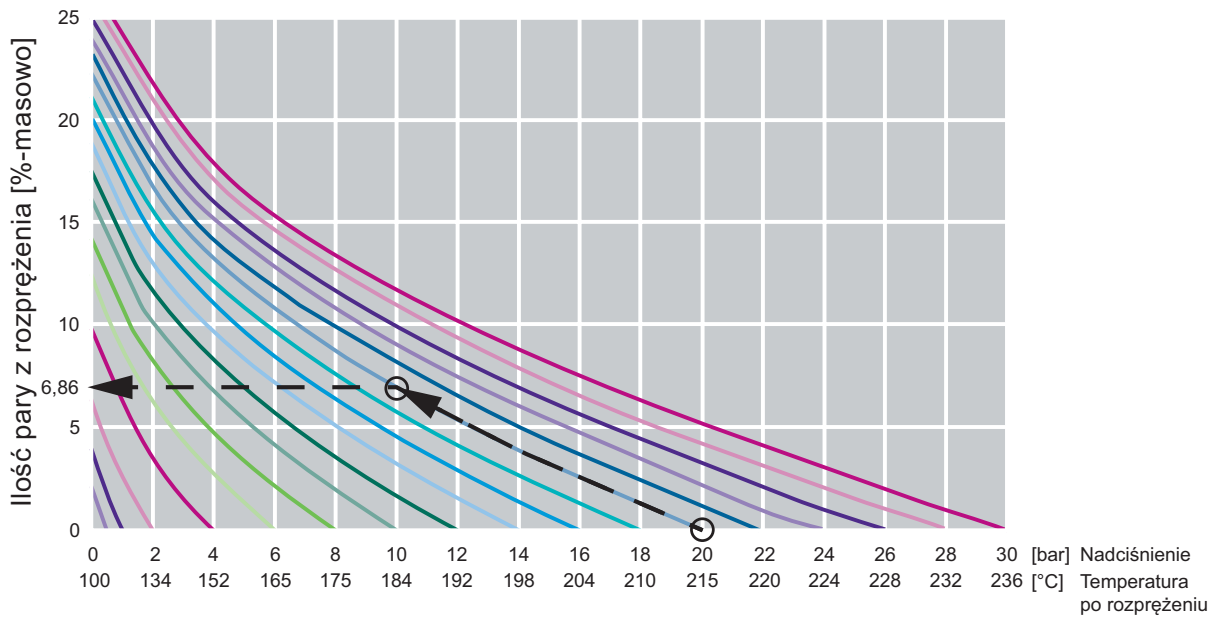
- x Udział masowy pary wtórnej [%]
- h Entalpia [kJ/kg]
- h' Entalpia wrzącej wody [kJ/kg]
- h'' Entalpia pary nasyconej [kJ/kg]
- r Entalpia parowania [kJ/kg]

$$x = \frac{919 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}}{2780 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}} = 6,86 \%$$



**Przykl. 20** Obliczenie udziału masowego pary wtórnej

Ciśnienie przed rozprężeniem	Temperatura czynnika	Entalpia	Ciśn. po rozprężeniu	Temperatura czynnika	Entalpia wody wrzącej	Entalpia pary nasyconej	Ilość pary z rozprężenia
[barg]	[°C]	[kJ/kg]	[barg]	[°C]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[%]
20,0	215,0	918,7	10,0	184,4	781,6	2 779,6	6,86
	Temperatura czynnika	Entalpia	Ciśn. po rozprężeniu	Temperatura czynnika	Entalpia wody wrzącej	Entalpia pary nasyconej	Ilość pary z rozprężenia
	[°C]	[kJ/kg]	[barg]	[°C]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[%]
	165,0	696,7	0,15	103,5	433,9	2 680,2	11,70
Wprowadzone dane	Wynik						

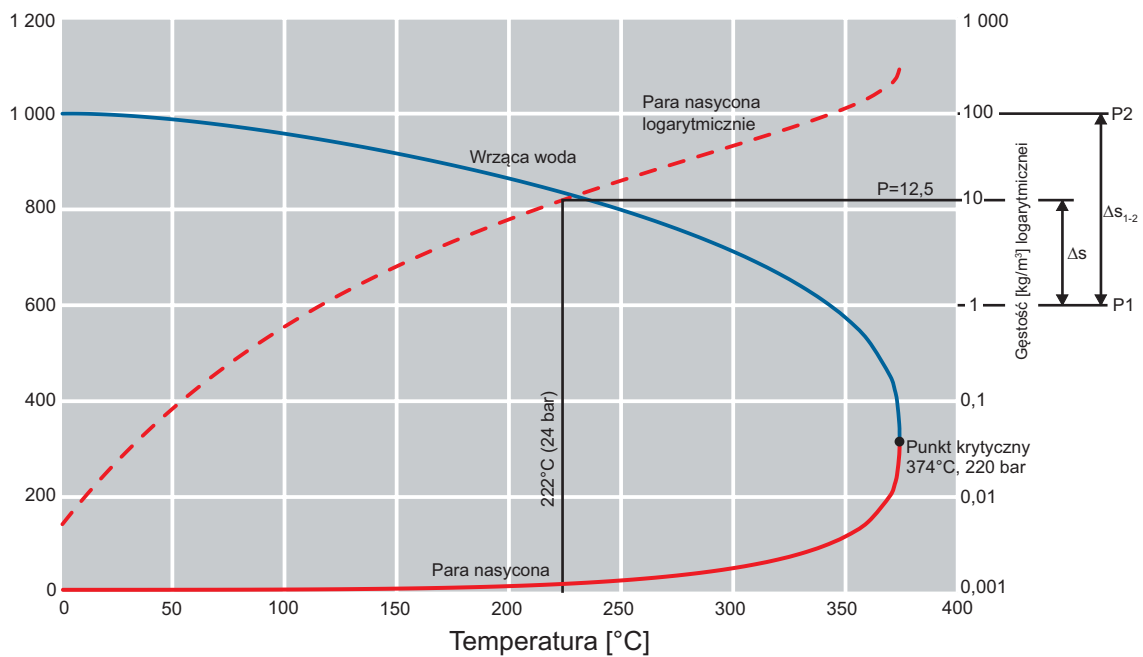


Ryc. 233 Para z rozprężenia

Przykład:

Gdy ciśnienie zostanie obniżone z 20 na 10 bar, to powstanie para z rozprężenia w ilości 6,86 %.

### 4.3 Gęstość



Ryc. 234 Gęstość pary nasyconej i wody w funkcji temperatury

- Woda wrząca
- - - Para nasycona, logarytmicznie
- Para nasycona

### 4.3.1 Odczytywanie wykresów logarytmicznych

Przeliczanie odcinków i wartości liczbowych  
na przykładzie gęstości pary nasyconej

#### Z wartości na odcinek na wykresie

Pierwszy punkt na skali logarytmicznej

Drugi punkt na skali logarytmicznej

Odcinek między oboma punktami

Szukany punkt

Odcinek między P1 i P

$$\Delta s = \frac{(\ln(P) - \ln(P_1))}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

#### Z odcinka na wykresie na wartość

Pierwszy punkt na skali logarytmicznej

Drugi punkt na skali logarytmicznej

Odcinek między oboma punktami

Szukany punkt

Odcinek między P1 i P

$$P = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\Delta s}{\Delta s_{1-2}}} \cdot P_1$$

		Jednostki w przykładzie <sup>1)</sup> :
P1	1,0000	kg/m <sup>3</sup>
P2	100,0000	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s_{1-2}$	27,100	mm
P	12,5000	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s$	14,863	mm

P1	1,0000	kg/m <sup>3</sup>
P2	100,0000	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s_{1-2}$	27,100	mm
P	12,4721	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s$	14,850	mm

1) Ten sposób przeliczania można stosować niezależnie od jednostek dla wszystkich wykresów logarytmicznych



## 5 Instalacje parowe

### 5.1 Moc kotła parowego i moc palnika

Wprowadzone dane Wynik

$$\dot{Q}_{\text{boi}} \approx \dot{m}_s \cdot 0,65$$

Wydajność kotła parowego	<input type="text" value="10 501"/> kg/h	Entalpia wody wrzącej	<input type="text" value="830"/> kJ/kg
Średnie ciśnienie robocze	<input type="text" value="13,00"/> bar	Entalpia pary nasyconej	<input type="text" value="2 789"/> kJ/kg
Temperatura wody zasilającej	<input type="text" value="103,0"/> °C	Entalpia wody zasilającej	<input type="text" value="432"/> kJ/kg

$$\dot{Q}_{\text{boi}} = \dot{m}_s \cdot (h'' - h_{\text{FW}}) \cdot \frac{1\text{h}}{3\,600\text{s}}$$

Moc cieplna kotła	<input type="text" value="6 876"/> kW	Sprawność kotła (procesu spalania)	<input type="text" value="92,0"/> %
-------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

$$\dot{Q}_{\text{bu}} = \frac{\dot{Q}_{\text{boi}}}{\eta_{\text{bu}}}$$

Moc palnika	<input type="text" value="7 474"/> kW	Wartość opałowa paliwa	<input type="text" value="10,4"/> kWh/kg (kWh/m³n)
-------------	---------------------------------------	------------------------	----------------------------------------------------

$$\dot{m}_F = \frac{\dot{Q}_{\text{bu}}}{H_i}$$

Ilość paliwa	<input type="text" value="722,1"/> kg/h (m³n/h)
--------------	----------------------------------------------------

### 5.2 Odsalanie i odmulanie

Wprowadzone dane Wynik

#### Parametry wody

		w wodzie uzupełniającej	$L_{\text{w.uzup}}$	<input type="text" value="15"/>
		Udział kondensatu	$c$	<input type="text" value="90"/> %
w wodzie zasilającej (przez analizę wody)	$L_{\text{w.zasil}}$	w wodzie zasilającej	$L_{\text{w.zasil}} \approx L_{\text{w.uzup}} \cdot (1-c)$	<input type="text" value="1,500"/>
Wartość graniczna wody kotłowej	$L_{\text{w.kotł}}$	Wartość graniczna wody kotłowej	$L_{\text{w.kotł}}$	<input type="text" value="2 000"/>

$$a = \frac{L_{\text{FW}}}{L_{\text{boi}} - L_{\text{FW}}}$$

Wymagany udział odsolin	<input type="text" value="2,6"/> %	Wymagany udział odsolin	<input type="text" value="0,1"/> %
Wymagane odsalanie	<input type="text" value="269,3"/> kg/h	Wymagane odsalanie	<input type="text" value="7,9"/> kg/h
w tym 5 % przez odmulanie	<input type="text" value="13,5"/> kg/h	w tym 5 % przez odmulanie	<input type="text" value="0,4"/> kg/h
Wart. bezwzględna	<input type="text" value="59"/> kW	Wart. bezwzględna	<input type="text" value="1,7"/> kW
% mocy cieplnej kotła	<input type="text" value="0,9"/> %	% mocy cieplnej kotła	<input type="text" value="0,0"/> %

## 5.3 Wzór barometryczny

 Wprowadzone dane Wynik

### Międzynarodowy wzór barometryczny

Wysokość	Ciśnienie	Temperatura	Gęstość
300 m	0,97773 bar	13,05 °C	1,191 kg/m <sup>3</sup>

$$p(h) = p_0 \cdot \left(1 - \frac{0.0065 \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot h}{T}\right)^{\frac{K}{K-1}} = 1.01325 \text{ bar} \cdot \left(1 - \frac{0.0065 \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot h}{288.15 \text{ K}}\right)^{5.255}$$

$$T(h) = 15 - 0.0065 \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot h$$

$$\rho = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{p}{1.01325 \text{ bar}}$$

### Z przeliczeniem temperatury

Wysokość	Ciśnienie	Temperatura	Gęstość
300 m	0,97773 bar	40,00 °C	1,088 kg/m <sup>3</sup>

## 5.4 Przewody rurowe

### 5.4.1 Wymiary

Grubości ścianek rur dla kołnierzy z szyjką do przyspawania (EN 1092-1:2013-04)

A	PN 2,5	PN 6	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
∅	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp
17,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
21,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
26,9	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,6	2,6
33,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
42,4	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9
48,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9
60,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,2
76,1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,2	3,6
88,9	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,6	4,0
114,3	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	4,0	5,0
139,7	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	6,3
168,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,6	7,1
219,1	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	7,1	10,0
273,0	6,3	6,3	6,3	6,3	7,1	7,1	8,8	12,5



A	PN 2,5	PN 6	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
Ø	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp
323,9	7,1	7,1	7,1	7,1	8,0	8,0	11,0	14,2
355,6	7,1	7,1	7,1	8,0	8,0	8,8	12,5	16,0
406,4	7,1	7,1	7,1	8,0	8,8	11,0	14,2	
457	7,1	7,1	7,1	8,0	8,8	12,5		
508	7,1	7,1	7,1	8,0	10,0	14,2		
610	7,1	7,1	7,1	8,8	11,0	16,0		
711	7,1	7,1	8,0	8,8	12,5			
813	7,1	7,1	8,0	10,0	14,2			
914	7,1	7,1	10,0	10,0	16,0			
1 016	7,1	7,1	10,0	10,0	17,5			
1 219	7,1	8,0	11,0	12,5				
1 422	7,1	8,0	12,5	14,2				
1 626	8,0	9,0	14,2	16,0				

**Tab. 61** Fragment tabeli A.1 z EN 1092-1:2013-0 — Grubości ścianek dla typu 11

A Ø	Średnica zewnętrzna
Sp	Grubość ścianki
PN	Ciśnienie nominalne

→ Fragment tabeli A.1 z EN 1092-1:2013-0

### 5.4.2 Zależność ciśnienie/temperatura <sup>1)</sup>

Wytrzymałość ciśnieniowa kołnierzy w zależności od temperatury definiują grupy materiałowe.

W obszarze kotłów parowych powszechnie stosuje się następujące materiały i grupy materiałowe:

Grupa materiałowa	Opis	Numer materiałowy
<b>3E0</b>	Stale niestopowe o gwarantowanych własnościach wytrzymałościowych w podwyższonej temperaturze	1.0352 P245GH
		1.0460 P250GH
<b>3E1</b>	Stale niestopowe o ustalonych własnościach w temp. do 400 °C, górna granica plastyczności > 265 N/mm <sup>2</sup>	1.0426 P280GH
<b>4E0</b>	Stale niskostopowe z 0,3 % domieszką molibdenu	1.5415 16Mo3
<b>12E0</b>	Stal o standardowej zawartości węgla, stabilizowana Ti i Nb	1.4541 X6CrNiTi18-10
		1.4550 X6CrNiNb18-10
		1.4941 X6CrNiTiB18-10
<b>15E0</b>	Stal o standardowej zawartości węgla, stop z molibdenem, stabilizowana Ti i Nb	1.4571 X6CrNiMoTi17-12-2
		1.4580 X6CrNiMoNb17-12-2

**Tab. 62** Zależność ciśnienie/temperatura

1) Źródło: EN 1092-1:2013-04, tabela 9, G.2.2, G.3.2, tabela D.1

#### Uwagi do zamieszczonych niżej tabel i wykresów:

- Zgodnie z normą EN 1092-1:2013-04 dla kołnierzy
- Za wartość referencyjną dla grubości  $v_R$  przyjmuje się wyłącznie dolny zakres, a zatem najwyższe ciśnienia, przy dużych rozmiarach kołnierzy i grubszych materiałach należy ewentualnie zastosować niższe dopuszczalne ciśnienia PS
- W przypadku stali austenitycznych występują różnice nie tylko w grupie materiałowej, ale po części także w poszczególnych materiałach. W dalszej części poradnika używamy materiałów standardowych
  - 12E0 > 1.4541
  - 15E0 > 1.4571
- RT (temperatura pomieszczenia) = - 10 °C – 50 °C
- Należy stosować liniową interpolację wartości podanych w tabelach
- PN oznacza ciśnienie nominalne
- PS oznacza ciśnienie dopuszczalne [bar]
- TS oznacza temperaturę dopuszczalną [°C]







### PN10

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	10,0	9,2	8,8	8,3	7,6	6,9	6,4	5,9	3,2	–	–	–	–	–	–	–	–
PS [bar]	3E1	10,0	10,0	10,0	10,0	9,7	8,8	8,0	7,3	4,0	–	–	–	–	–	–	–	–
	4E0	10,0	10,0	10,0	10,0	9,7	8,5	8,0	7,4	6,9	6,4	5,9	5,4	4,9	4,4	3,5	2,8	2,2

Tab. 63 Fragment tabeli G.2.1–3 – PN 10 dla stali ferrytycznych

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	10,0	9,9	9,3	8,8	8,4	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0	6,7	6,1	5,6	5,0	4,5	4,0
PS [bar]	15E0	10,0	10,0	9,8	9,3	8,8	8,3	8,0	7,8	7,6	7,5	7,4	7,4	7,3	6,7	6,0	5,5

Tab. 64 Fragment tabeli G.4.1–3 – PN 10 dla stali austenitycznych

### PN16

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	16,0	14,8	14,0	13,3	12,1	11,0	10,2	9,5	5,2	–	–	–	–	–	–	–	–
PS [bar]	3E1	16,0	16,0	16,0	16,0	15,6	14,0	12,9	11,8	6,4	–	–	–	–	–	–	–	–
	4E0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,6	13,7	12,9	11,9	11,0	10,2	9,4	8,6	7,8	7,0	5,6	4,4	3,5

Tab. 65 Fragment tabeli G.2.1–4 – PN 16 dla stali ferrytycznych

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	16,0	15,8	14,9	14,1	13,4	12,7	12,2	11,8	11,6	11,3	10,8	9,8	8,9	8,1	7,3	6,5
PS [bar]	15E0	16,0	16,0	15,6	14,9	14,1	13,3	12,8	12,4	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7	10,7	9,7	8,8

Tab. 66 Fragment tabeli G.4.1–4 – PN 16 dla stali austenitycznych

### PN 25

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	25,0	23,2	22,0	20,8	19,0	17,2	16,0	14,8	8,2	–	–	–	–	–	–	–	–
PS [bar]	3E1	25,0	25,0	25,0	25,0	24,4	22,0	20,2	18,4	10,1	–	–	–	–	–	–	–	–
	4E0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,4	21,4	20,2	18,6	17,2	16,0	14,7	13,5	12,3	11,0	8,8	7,0	5,5

Tab. 67 Fragment tabeli G.2.1–5 – PN 25 dla stali ferrytycznych

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	25,0	24,7	23,3	22,1	21,0	19,8	19,1	18,5	18,1	17,7	16,9	15,3	14,0	12,7	11,4	10,2
PS [bar]	15E0	25,0	25,0	24,5	23,3	22,1	20,8	20,1	19,5	19,1	18,8	18,6	18,5	18,3	16,7	15,2	13,8

Tab. 68 Fragment tabeli G.4.1–5 – PN 25 dla stali austenitycznych

**PN 40**

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	<b>3E0</b>	40,0	37,1	35,2	33,3	30,4	27,6	25,7	23,8	13,1	–	–	–	–	–	–	–	–
PS [bar]	<b>3E1</b>	40,0	40,0	40,0	40,0	39,0	35,2	32,3	29,5	16,1	–	–	–	–	–	–	–	–
	<b>4E0</b>	40,0	40,0	40,0	40,0	39,0	34,2	32,3	29,9	27,6	25,6	23,6	21,6	19,7	17,7	14,0	11,2	8,9

**Tab. 69** Fragment tabeli G.2.1–6 – PN 40 dla stali ferrytycznych

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	<b>12E0</b>	40,0	39,6	37,3	35,4	33,7	31,8	30,6	29,7	29,0	28,3	27,0	24,5	22,4	20,3	18,2	16,3
PS [bar]	<b>15E0</b>	40,0	40,0	39,2	37,3	35,4	33,3	32,1	31,2	30,6	30,0	29,9	29,6	29,3	26,8	24,3	22,0

**Tab. 70** Fragment tabeli G.4.1–6 – PN 40 dla stali austenitycznych

**PN 63**

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	<b>3E0</b>	63,0	58,5	55,5	52,5	48,0	43,5	40,5	37,5	20,7	–	–	–	–	–	–	–	
PS [bar]	<b>3E1</b>	63,0	63,0	63,0	63,0	61,5	55,5	51,0	46,5	25,5	–	–	–	–	–	–	–	
	<b>4E0</b>	63,0	63,0	63,0	63,0	61,5	54,0	51,0	47,1	43,5	40,3	37,2	34,1	31,0	27,9	22,2	17,7	14,1

**Tab. 71** Fragment tabeli G.2.1–7 – PN 63 dla stali ferrytycznych

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	<b>12E0</b>	63,0	62,4	58,8	55,8	53,1	50,1	48,3	46,8	45,7	44,7	42,6	38,7	35,4	32,1	28,8	25,8
PS [bar]	<b>15E0</b>	63,0	63,0	61,8	58,8	55,8	52,5	50,7	49,2	48,3	47,4	47,1	46,6	46,2	42,3	38,4	34,8

**Tab. 72** Fragment tabeli G.4.1–7 – PN 63 dla stali austenitycznych

**5.4.3 Prędkość przepływu**

Czynnik	Obszar zastosowania	Przybliżona prędkość
Para	0...1 bar	20...25 m/s
	1...40 bar	30...40 m/s
Woda	Przewód ssący	0,4 (0,25...0,6) m/s
	Przewód tłoczny	2 (1,5...3) m/s
Kondensat	Udział pary	15 m/s
	Udział wody	2 m/s
Spaliny		16,5 m/s



Czynnik	Obszar zastosowania	Przybliżona prędkość
<b>Olej</b>	Olej lekki po stronie ssącej	0,5 m/s
	Olej lekki po stronie tłocznej	1 m/s
	Olej ciężki po stronie ssącej	0,3 m/s
	Olej ciężki po stronie tłocznej	0,5 m/s
<b>Gaz ziemny</b>		Brak zaleceń
		Obliczenie przez spadek ciśnienia

Tab. 73 Typowe prędkości obliczeniowe (przybliżone) do wymiarowania rurociągów

#### 5.4.4 Straty ciśnienia – orientacyjne współczynniki strat ciśnienia $\zeta$

Zawór odcinający, zawór regulacyjny, kłapa odcinająca

DN	Współczynnik kvs			Współczynnik strat ciśnienia $\zeta$ <sup>1)</sup>		
	Zawór odcinający	Zawór regulacyjny	Kłapa odcinająca	Zawór odcinający	Zawór regulacyjny	Kłapa odcinająca
15						
20	7,2	6,3	–	4,9	6,4	–
25	12	10	26	4,3	6,2	4,3
32	16	16	26,5	6,5	6,5	6,5
40	28,5	25	49,6	5	6,5	5
50	43	40	116	5,4	6,2	5,4
65	75	63	259	5,1	7,2	5,1
80	105	100	377	5,9	6,5	5,9
100	170	160	763	5,5	6,2	5,5
125	270	250	1 030	5,3	6,2	5,3
150	405	400	1 790	4,9	5,1	4,9
200	675	–	3 460	5,6	–	5,6
250	1 090	–	5 070	5,2	–	5,2
300	1 460	–	7 430	6,1	–	6,1
350	2 010	–	10 320	5,9	–	5,9
400	2 640	–	13 290	5,9	–	5,9

Tab. 74 Zawór odcinający, zawór regulacyjny, kłapa odcinająca

1) Współczynnik strat ciśnienia  $\zeta$  w odniesieniu do średnicy znamionowej DN.

**Zawór zwrotny międzykołnierzowy, zawór zwrotny, filtr**

DN	Współczynnik kvs			Współczynnik strat ciśnienia $\zeta$ <sup>1)</sup>		
	Zawór zwrotny międzykołnierzowy	Zawór zwrotny	Filtr	Zawór zwrotny międzykołnierzowy	Zawór zwrotny	Filtr
15	4,4	5,7	6,9	4,2	2,9	2,9
20	7,1	7,8	10,8	5,1	4,9	4,9
25	12	11,8	17,8	4,3	4,3	4,3
32	19,5	17,9	26,1	4,4	6,5	6,5
40	25	27,5	36,7	6,5	5	5
50	46	48	61	4,7	5,4	5,4
65	69	77,6	98,6	6,0	5,1	5,1
80	87	109	146	8,7	5,9	5,9
100	122	168	234	10,7	5,5	5,5
125	–	251	376	–	5,3	5,3
150	–	389	394	–	4,9	4,9
200	–	664	652	–	5,6	5,6
250	–	1 017	1 225	–	5,2	5,2
300	–	1 446	1 873	–	6,1	6,1
350	–	2 042	–	–	5,9	–
400	–	2 725	–	–	5,9	–
500	–	4 167	–	–	5,9	–

**Tab. 75** Zawór zwrotny międzykołnierzowy, zawór zwrotny, filtr

 1) Współczynnik strat ciśnienia  $\zeta$  w odniesieniu do średnicy znamionowej DN.

**Straty ciśnienia pary wodnej i innych gazów:**

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 \cdot p_1} = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \text{ przy przepływie izotermicznym } T_2 = T_1$$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 \cdot p_1} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \text{ przy przepływie izotermicznym } T_2 = T_1$$


**Wzór 39.** Straty ciśnienia pary wodnej i innych gazów przy przepływie izotermicznym

- $p_1$  Ciśnienie przed odcinkiem przewodu [Pa]
- $p_2$  Ciśnienie za odcinkiem przewodu [Pa]
- $\lambda$  Współczynnik tarcia
- $l$  Długość rury [m]
- $d$  Średnica rury [m]
- $\zeta$  Współczynnik strat ciśnienia



Dla obliczenia strat ciśnienia na przesyle  $\zeta =$

- $\zeta$  pobór pary → Tab. 74 Zawór odcinający, zawór regulacyjny, kłapa odcinająca, strona 413
- +  $\zeta$  rozszerzenie/dyspozycja z reguły rozszerzenie po poborze pary
- + n kolan  $\square \zeta$  kolan wartość orientacyjna  $\zeta_{\text{kolano } 90^\circ} \approx 0,5$
- +  $\lambda \cdot \frac{l}{d}$
- +  $\zeta$  zawory
- +  $\zeta$  wlot odbiornika jeśli występuje (z reguły nieistotny)



$\rho$  Gęstość przesyłanego czynnika w  $\text{kg/m}^3$

$u$  Średnia prędkość na wlocie rury

$T_1$  Temperatura czynnika na wlocie rury

$T_2$  Temperatura czynnika na wlocie rury

Błąd w odniesieniu do strumienia adiabatycznego jest z reguły pomijalny.

### Straty ciśnienia cieczy

#### Przeliczanie współczynnika $K_v$ , współczynnika strat ciśnienia $\zeta$ i współczynnika przepływu $C_v$

Przeliczenie współczynnika  $K_v$  zaworu na współczynnik strat ciśnienia  $\zeta$ :

$$\zeta = 2 \cdot \frac{A^2}{\left(\frac{K_v}{3,600}\right)^2} \cdot 100 = 2 \cdot \frac{\left(\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2\right)^2}{\left(\frac{K_v}{3,600}\right)^2} \cdot 100$$



**Wzór 40** Wzór na przeliczenie współczynnika  $K_v$  zaworu na współczynnik strat ciśnienia  $\zeta$

Przeliczenie współczynnika strat ciśnienia  $\zeta$  zaworu na współczynnik  $K_v$ :

$$K_v = \frac{A \cdot 3\,600}{\sqrt{\frac{\zeta}{2 \cdot 100}}} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \cdot 3\,600}{\sqrt{\frac{\zeta}{2 \cdot 100}}}$$



**Wzór 41** Wzór na przeliczenie współczynnika strat ciśnienia  $\zeta$  zaworu na współczynnik  $K_v$

Przeliczenie współczynnika przepływu  $C_v$  w układach metrycznych na współczynnik  $K_v$ :

$$K_v = C_v \cdot 0.865$$



**Wzór 42** Wzór na przeliczenie współczynnika przepływu  $C_v$  w układach metrycznych na współczynnik  $K_v$

## 5.5 Oznakowanie

### 5.5.1 Oznakowanie rurociągów

Przewody rurowe są znakowane według norm branżowych, zakładowych oraz na podstawie rozporządzeń (w Niemczech wg DIN 2403). Oznaczenia umieszcza się w określonych odległościach w miejscach charakterystycznych dla instalacji i w których może występować potencjalne zagrożenie. Oznaczenie musi zawierać następujące elementy:

- strzałkę pokazującą kierunek przepływu czynnika,
- określenie czynnika przesyłanego rurociągiem (oznaczenie słowne, wzór chemiczny, oznaczenie cyfrowe lub skrót),
- piktogram określający rodzaj zagrożenia, jeśli takie występuje (np. w przypadku palnych gazów/cieczy, kwasów i zasad).

→ Narzędzia – rozdział 5.5.2: Niebezpieczne substancje chemiczne, strona 417

Przesyłany czynnik	Grupa	Barwa grupy	Barwa uzupełniająca	Barwa tekstu/strzałki/obramowania
<b>Woda</b>	1	zielony	-	biały
<b>Para wodna</b>	2	czerwony	-	biały
<b>Powietrze</b>	3	szary	-	czarny
<b>Gazy palne</b>	4	żółty	czerwony	czarny
<b>Gazy niepalne</b>	5	żółty	czarny	czarny
<b>Kwasy</b>	6	pomarańczowy	-	czarny
<b>Ługi</b>	7	fioletowy	-	biały
<b>Palne ciecze i materiały sypkie</b>	8	brązowy	czerwony	biały
<b>Niepalne ciecze i materiały sypkie</b>	9	brązowy	czarny	biały
<b>Tlen</b>	0	niebieski	-	biały

Tab. 76 Oznaczenie barwne rurociągów wg DIN 2403

Barwa grupy/barwa uzupełniająca	Identyfikacja kolorów wg DIN 5381
Zielony	RAL 6032 Zielony sygnałowy
Czerwony	RAL 3001 Czerwony sygnałowy
Szary	RAL 7004 Szary sygnałowy
Żółty	RAL 1003 Żółty sygnałowy
Pomarańczowy	RAL 2010 Pomarańczowy sygnałowy
Fioletowy	RAL 4008 Fioletowy sygnałowy
Brązowy	RAL 8002 Brązowy sygnałowy
Niebieski	RAL 5005 Niebieski sygnałowy
Czarny	RAL 9004 Czarny sygnałowy
Biały	RAL 9003 Biały sygnałowy

Tab. 77 Barwy rozpoznawcze wg DIN 5381



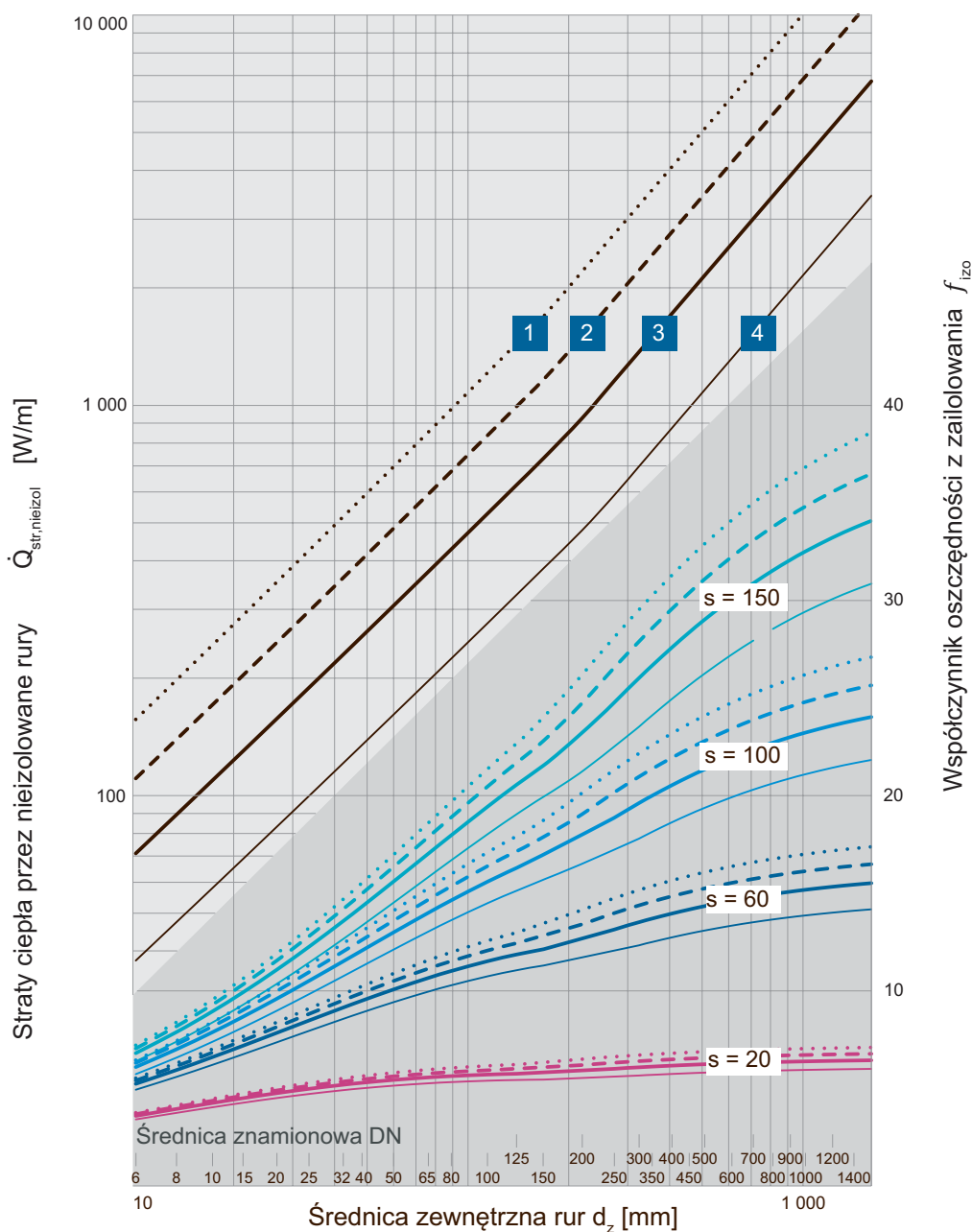
## 5.5.2 Niebezpieczne substancje chemiczne

Piktogramy określające rodzaje zagrożeń (oznakowanie niebezpiecznych substancji chemicznych) mają spełniać wymagania europejskiego rozporządzenia CLP.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (rozporządzenie CLP) dostosowuje wcześniejsze przepisy UE do Globalnie Zharmonizowanego Systemu Klasyfikacji i Oznakowania Chemikaliów (GHS).





## 5.6 Straty ciepła

### 5.6.1 Rurociągi i armatury



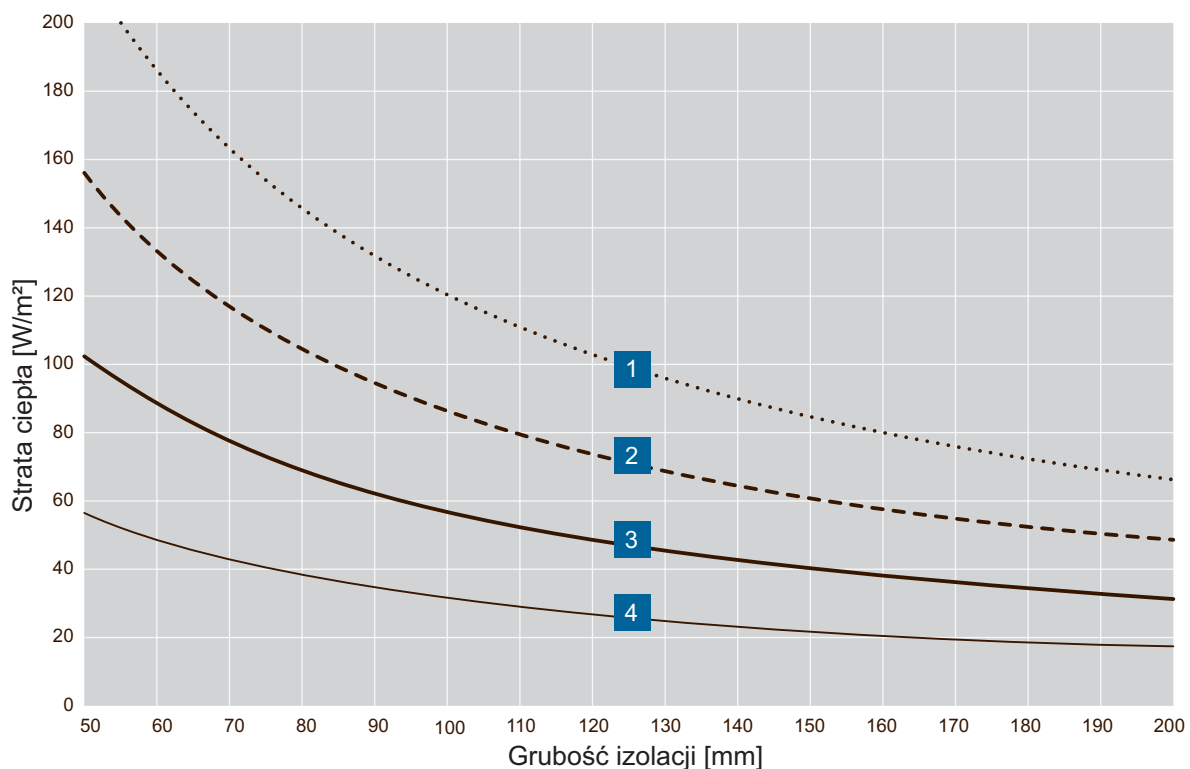
Ryc. 235 Współczynnik oszczędności z zaizolowania i straty ciepła w rurociągach



- |                                                 |                                                                                                                |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> Temperatura czynnika: 250 °C (.....)   |  Grubość izolacji gr = 150 mm |
| <b>2</b> Temperatura czynnika: 200 °C (- - - -) |  Grubość izolacji gr = 100 mm |
| <b>3</b> Temperatura czynnika: 150 °C (— — —)   |  Grubość izolacji gr = 60 mm  |
| <b>4</b> Temperatura czynnika: 100 °C (— — —)   |  Grubość izolacji gr = 20 mm  |

→ Efektywność, rozdział 4.1.2: Izolacja rur, strona 291

### 5.6.2 Zbiorniki




Ryc. 236 Strata ciepła przez izolowaną część powierzchni zbiorników i kotłów

- 1** Temperatura czynnika: 250 °C
- 2** Temperatura czynnika: 200 °C
- 3** Temperatura czynnika: 150 °C
- 4** Temperatura czynnika: 100 °C



## 5.7 Hałas

### Dodawanie poziomów ciśnienia akustycznego

$$L_{p, \text{całk}} = 10 \cdot \text{LOG}_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p,i}}{10}}$$


**Wzór 43** Obliczanie całkowitego poziomu dźwięku

### Ważenie częstotliwościowe i poziom ciśnienia akustycznego

											Wprowadzone dane	
											Wynik	
Częstotliwość [Hz]											Σ	
	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000		
<b>dB(A)</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6		
<b>dB(C)</b>	-3	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3	-8,5		
<b>dB</b>	109,2	112,7	118,2	112,2	100,6	97,3	83,1	67,7	63,7	60,0	120,5	
<b>dB(A)</b>	69,8	86,5	102,1	103,6	97,4	97,3	84,3	68,7	62,6	53,4	107,1	
<b>dB(C)</b>	106,2	111,9	118,0	112,2	100,6	97,3	82,9	66,9	60,7	51,5	120,0	

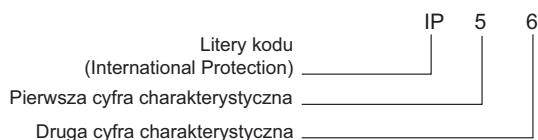




## 6 Inne

### 6.1 Stopnie ochrony obudowy IP

Zgodnie z EN 60529:2014-09



#### Pierwsza cyfra charakterystyczna

	Ochrona przed wnikaniem obcych ciał stałych:	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych:
<b>0</b>	(bez ochrony)	(bez ochrony)
<b>1</b>	o średnicy 50 mm i większej	wierzchem dłoni
<b>2</b>	o średnicy 12,5 mm i większej	palcem
<b>3</b>	o średnicy 2,5 mm i większej	narzędziem
<b>4</b>	o średnicy 1,0 mm i większej	drutem
<b>5</b>	ochrona przed pyłem	drutem
<b>6</b>	ochrona pyłoszczelna	drutem

Tab. 78 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy – pierwsza cyfra charakterystyczna

#### Druga cyfra charakterystyczna

<b>0</b>	(bez ochrony)
<b>1</b>	Ochrona przed padającymi kroplami wody
<b>2</b>	Ochrona przed padającymi kroplami wody przy wychyleniu obudowy o dowolny kąt do 15° od pionu
<b>3</b>	Ochrona przed natryskiwaniami wodą
<b>4</b>	Ochrona przed bryzgami wody
<b>5</b>	Ochrona przed strugą wody
<b>6</b>	Ochrona przed silną strugą wody
<b>7</b>	Ochrona przed skutkami krótkotrwałego zanurzenia w wodzie
<b>8</b>	Ochrona przed skutkami ciągłego zanurzenia w wodzie
<b>9</b>	Ochrona przed zalaniem silną strugą wody pod ciśnieniem

Tab. 79 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy – druga cyfra charakterystyczna

# Indeks haseł

## Symbole

Konstrukcja 3-ciągowa 329

## A

## B

BCO (sterowanie kotłem) 171, 172, 369

## C

Cechy chemiczne wody ruchowej 132

Woda słabo zasolona 47

Woda niezasolona 45

Woda zasolona 47

Ciepło spalania 245

Ekonomizer kondensacyjny 154, 265, 266

Ciepło

Mostki termiczne 294

Rozszerzalność cieplna 219, 220

Moc cieplna 39, 40, 44, 248

Odzysk ciepła 41, 43, 126, 166, 189, 270, 279

Wymiennik ciepła 39, 50, 79, 142

Straty ciepła 41, 147, 195, 253, 289

Ciepło odpadowe 311

Wykorzystanie ciepła odpadowego 228, 338

Odzysk ciepła odpadowego 335

Ciśnienie 29, 111, 391, 399

Ciśnienie robocze 297

Obniżone ciśnienie robocze 32

Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze 33, 53, 67, 216

Średnie ciśnienie robocze 29, 30

Ciśnienie wrzenia 399

Condition Monitoring 173, 298, 369

CSC (sterowanie kotłem) 174, 371

## **D**

Dozowanie (chemiczne)	90, 127, 192, 286
Dyrektywy	65, 70

## **E**

Efektywność	
Economizer kondensacyjny	154, 265
Economizer zintegrowany	151
Ekonomizer wolnostojący	153
Eksploatacja	87
Koszty eksploatacji	52, 260, 314, 319, 324, 329
Sposób eksploatacji	75, 87, 314
Stan roboczy	182
Emisja	69
Energia	
Wytwarzanie energii	298
Zarządzanie energią	298
Zużycie energii	340
Entalpia	112

## **F**

## **G**

Gaz	55, 57, 143
Gaz ziemny	57, 58

## **H**

## **I**

Imisja	69
Instalacja	
System zarządzania instalacją (SCO)	206, 208, 359, 363, 372
Izolacja	41, 289, 294, 296
Grubość izolacji	255, 291

## **J**

## **K**

Kawitacja	91, 223
Kocioł dwupłomienicowy	119, 159, 268
Kocioł odzyskowy	63, 123, 146, 228, 305, 306, 311, 324
Kocioł	
Pomieszczenie ustawienia kotła	61
Kaskada kotłów	76, 196, 297
Kotłownia	53, 170, 177, 178
Komponenty kotłowni	61, 340
Moc kotła	51, 52, 53, 274
Pompy zasilające kocioł	90, 162
Sterowanie kotłem (BCO)	30, 171, 369
Zasilanie kotła	363
Kolektory słoneczne	307
Kombinowanie procesów	305
Komora nawrotna	89
Komponenty	127, 135, 311
Kondensat	
Kondensat wysokociśnieniowy	202
Przewody kondensatu	107, 201, 223, 290
Zawracanie kondensatu	42, 43, 44
Kolektor kondensatu	41, 206, 286
System kondensatu	41, 94, 205, 286, 347
Przechłodzenie kondensatu	40
Kondensat odtleniony (wysokociśnieniowy)	202
Konserwacja	301

## **Ł**

Łańcuch bezpieczeństwa	129, 131, 170
------------------------	---------------

## **M**

Materiały	265, 410
MEC Optimize	87, 299, 373
MEC Remote	376
MEC System	211, 375



Modbus	208, 372
Moduł kogeneracyjny (do jednoczesnego wytwarzania energii elektr. i ciepła)	63, 121, 146, 228
Montaż	61, 79, 96
Montaż kotła w kotłowni	53, 61, 63

## N

Nadmiar powietrza	251, 252, 272, 274
Normy	61, 65, 228

## O

Obciążenie pełne	252
Obciążenie podstawowe	305
Obciążenie szczytowe	337
Obliczenie	32, 34, 49, 57, 59, 64, 106, 162, 180, 213, 229, 275, 297
Odgazowanie	44
Odgazowanie częściowe	191, 192
Odgazowanie termiczne	187
Odgazowanie całkowite	189
Odgazowanie całkowite	189, 283
Odgazowanie częściowe	191, 192
Odmulanie	42, 129, 162, 193, 247, 266, 299
Odsalanie	37, 128, 162, 183, 193, 266, 284
Odwodnienie	80, 223
Olej ciężki	55, 142
Olej lekki	139, 214
Olej opałowy	55, 56, 57, 58, 135
Opary	44, 82, 282, 352

## P

Palenisko	131, 135
Instalacja paleniskowa	135, 139, 144
Komora paleniskowa	145
Paliwo	55, 58, 59, 76, 131, 132, 135, 137, 142, 143, 245, 250, 272, 393
Palnik	
Moc palnika	93, 275
Układ palnikowy	272
Palnik z rozpylaczem wysokociśnieniowym	139

Palnik dwublokowy (duoblok)	137
Palnik jednoblokowy (monoblok)	136
Para	
Kotły parowe	114, 407
Rodzaje pary	105
Ciśnienie pary	195
Kotły parowe	172, 311, 386
Obieg pary	38, 348
Wydajność kotła parowego	37, 75
Przewody pary	41, 79, 221
Ilość pary	124, 132, 162
Uderzenia pary (uderzenia kondensatu)	93, 129, 221
Zbiornik akumulacyjny pary	196, 346
Sieć parowa	34, 198
Para do podgrzewu	38, 42, 45, 280, 282
Para mokra	106
Para nasycona	106, 405
Para wtórna	108, 286, 406
Straty energii z parą wtórną	40
Para z rozprężenia	41, 108, 286, 404
Permeat (woda, częściowo odsolona)	185, 186
Płomienica	118, 181, 236
Płomieniówka	236, 237, 315
Podgrzewanie oleju	142
Podgrzewanie wstępne powietrza	137, 150, 156, 267
Podtrzymanie ciepła	52, 147
Pompy	91, 164, 166, 352
Powietrze odprowadzane	63, 77
Powietrze wprowadzane	63, 77, 96
Prawo	65
Produkty	308
Profibus	170, 208
Projektowanie	19, 75
Przegrzewacz	159-241, 333
Przepisy	65, 70, 71, 300
Przewietrzanie wstępne	275

---

Przewodność	128, 130, 205
Przewód upustowy zaworu bezpieczeństwa	81, 84, 226

## **R**

Regulacja	123, 128, 273, 274, 297
Rurociągi	94, 408, 418, 419

## **S**

SCO (system zarządzania instalacją)	209, 211, 372
Serwis	300
Sonda CO	273
Sonda O <sub>2</sub>	273
Spalanie (stechiometryczne)	272
Spaliny	
Wymiennik ciepła ze spalin (ekonomizer)	150, 156, 356, 357, 358
Sprawność	245, 248, 382
Sprawność całoroczna	255, 260, 289
Sterowanie	170, 174, 208, 209, 311, 371
Strata promieniowania	32
System automatyki i sterowania	169
Protokoły komunikacyjne	208
System sterowania	311, 371
System zarządzania budynkiem	169
Średnica znamionowa	82, 213, 214

## **T**

Temperatura	391, 399
Różnica temperatur	249, 289
Temperatura wrzenia	189, 275, 399
Transmisja	69

## **U**

Udział odsolin	183, 184, 279, 284
----------------	--------------------

## W

Woda	
demineralizowana	179
zmiękczone	182, 206
pozbawiona twardości	179, 201, 206, 363
odsolona częściowo	179, 186
odsolona całkowicie	187
Przygotowanie wody	177, 179, 192
• chemiczne	90, 127, 192
• termiczne	255
Usuwanie wody	177, 193, 194
Obieg wody	41
Jakość wody	88, 127, 177, 205, 235, 359
Uderzenia wodne	79, 222
Woda dejonizowana (całkowicie odsolona)	187
Woda miękka	179
Woda surowa (świeża)	363
Woda świeża	88, 180
Woda uzupełniająca	38, 41, 43, 45
Zapotrzebowanie na wodę uzupełniającą	44, 307
Woda zasilająca	
Zbiornik wody zasilającej	39, 45, 94, 127
Moduł chłodzenia wody zasilającej	269, 358
Wydajność	37, 38, 49
Wysokoprężność	
Para wysokoprężna	108, 307
Kondensat wysokociśnieniowy	286, 347

## Z

Zakres regulacji	51, 57
Zapotrzebowanie	42
Zawór bezpieczeństwa	130, 226, 227
Zdalny serwis (MEC Remote)	210, 299, 376
Zmiany obciążenia	93, 194
Zmiękczenie	181, 182
Zmiękczenie jonowymienne	181, 182
Zużycie własne	42

# Bibliografia

I)	IWO – Instytut Ciepła i Technologii Olejowych, 2017	56
II), III)	Federalny Urząd Statystyczny – dane dot. ewolucji cen energii, 2018	58 ,59
IV)	Dyrektywa w sprawie urządzeń ciśnieniowych 2014/68/UE, TÜV Rheinland, 2016	66
V)	Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (wyd.), wyd. 4, popr., 2018: Zitate für Manager: Über 2.600 Sinnsprüche, die Ihre Botschaft auf den Punkt bringen, S. 106	74

## **Bosch Industriekessel GmbH**

Nürnberger Straße 73  
91710 Gunzenhausen  
Deutschland  
Tel. +49 9831 56-253  
Fax +49 9831 56-92253

## **Bosch Kotły Przemysłowe w Polsce: LOOS Centrum Sp. z o.o.**

**ul. Marii Kazimiery 35  
01-641 Warszawa  
Tel. +48 225619090  
Fax. +48 225619099  
email: [loos@loos.pl](mailto:loos@loos.pl), [info@bosch-industrial.pl](mailto:info@bosch-industrial.pl)  
internet: [www.loos.pl](http://www.loos.pl), [www.bosch-industrial.pl](http://www.bosch-industrial.pl)**

**Dział serwisu: 602190003; [serwis@loos.pl](mailto:serwis@loos.pl)  
Dział części: 735202861; [czesci@loos.pl](mailto:czesci@loos.pl)  
Dział modernizacji: 734128755; [modernizacja@loos.pl](mailto:modernizacja@loos.pl)**

<https://www.youtube.com/watch?v=pM04pedCydA>

© Bosch Industriekessel GmbH | Ilustracje przedstawiają jedynie przykłady |  
Zmiany zastrzeżone | 09/2018 | T

Serdeczne podziękowania dla Dreizler, Grundfos, GWT – Gesellschaft für Wasser-und  
Verfahrenstechnik mbH, Saacke, TÜV Süd oraz Weishaupt za udostępnienie zdjęć.

Opracowanie: TANNER AG, Lindau (B.)/Karlsruhe





**BOSCH**

**Industrial Boilers  
Partner**

**Bosch Industriekessel GmbH**

Nürnberger Straße 73  
91710 Gunzenhausen / Niemcy  
[www.bosch-industrial.com](http://www.bosch-industrial.com)

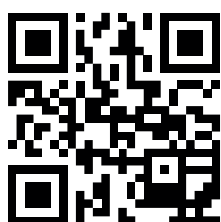
**LOOS**

**KOTŁY PRZEMYSŁOWE**

**LOOS CENTRUM Sp. z o.o.**

Bosch Group  
Ul. Marii Kazimiery 35  
01-641 Warszawa  
Polska  
Tel. +48 225619090  
Fax +48 225619099

[loos@loos.pl](mailto:loos@loos.pl)  
[www.bosch-industrial.pl](http://www.bosch-industrial.pl)



**Dołącz do nas na**



<http://linkedin.com/company/loos-kotly-przemyslowe-bosch>  
<http://linkedin.com/in/bernhard-morawietz-kotly-przemyslowe-bosch>

ISBN 978-83-955868-0-4

## KONTAKT

### Centrum Obsługi Klienta

Białystok	+48 604 290 608
Bydgoszcz	+48 604 290 606
Gdańsk	+48 604 290 611
Gorzów Wlkp.	+48 604 290 606
Katowice	+48 604 290 602
Kraków	+48 604 290 610
Kielce	+48 604 290 602
Lublin	+48 604 290 610
Łódź	+48 604 290 602
Olsztyn	+48 604 290 611
Opole	+48 604 290 607
Poznań	+48 604 290 606
Rzeszów	+48 604 290 610
Szczecin	+48 604 290 611
Warszawa	+48 604 290 608
Wrocław	+48 604 290 607