

## Raport Branżowy

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

Efektywność energetyczna BOSCH:  
Porównanie kotła płomienicowo-  
płomieniówkowego i wodnorurkowego

Inż. Bernhard Morawietz, Członek Zarządu LOOS Centrum  
Dipl.-Ing. Jochen Loos  
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH) Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH

Historia wytwarzania pary do użytku przemysłowego liczy już ponad 200 lat. Przez pierwsze sto lat znane były tylko kotły, które można porównać z dzisiejszymi kotłami płomienicowo-płomieniówkowymi. W 1875 roku [1], tj. 106 lat po wynalezieniu przez Jamesa Watta kotła parowego i maszyny parowej, firma Steinmüller zbudowała pierwszy kocioł wodnorurkowy. Od tego momentu nastąpił gwałtowny rozwój kotłów wodnorurkowych, jeśli chodzi o wydajność i ciśnienie. W 1927 roku uruchomiono pierwszy kocioł Bensona, który mógł wytwarzać 30 ton pary na godzinę o ciśnieniu 180 barów i temperaturze 450 °C. W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia konstruowano kotły na parametry nadkrytyczne dostarczające parę o ciśnieniu przekraczającym 350 barów i temperaturze powyżej 600 °C. W 1970 roku osiągnięto granicę wydajności wynoszącą 1000 t pary/godz. A już pięć lat później udało się zbudować kotły wodnorurkowe o wydajności produkcyjnej przekraczającej 2000 ton pary na godzinę. Tak ogromne wydajności wytwórcze pary o skrajnych parametrach są nieosiągalne przez kotły płomienicowo-płomieniówkowe ze względu na zasadę ich działania. Niemniej jednak, kotły płomienicowo-płomieniówkowe były również nieustannie udoskonalane. Jako przykłady takich działań,

zainicjowanych przez Bosch Industriekessel GmbH, można wskazać wprowadzenie w roku 1953 kotła w konstrukcji trójciągowej z umieszczoną wewnątrz komorą nawrotną chłodzoną wodą, stworzenie kotła dwupłomienicowego (1956) czy elektrod poziomu wody bezpiecznych w razie uszkodzenia (1977). Wydajności produkcyjne sięgające 55 ton pary na godzinę są dzisiaj bezpiecznie i ekonomicznie realizowane niemal wyłącznie przez kotły płomienicowo-płomieniówkowe. W zależności od wielkości kotły te mogą osiągać ciśnienia do 30 barów i temperaturę pary przegrzanej do 300 °C. Dotychczas wykonane warianty kotłów dowodzą niezbicie, że oba rodzaje kotłów mają pełną rację bytu. Ogólnie rzecz ujmując, to nie wszystko jedno, który z nich zastosujemy w konkretnym przypadku. Ale jak to zwykle bywa, także i od tej reguły bywają wyjątki. Niniejsze opracowanie ma dostarczyć argumentów pomocnych przy wyborze kotła w sytuacjach, gdy każdy z obu typów konstrukcyjnych odpowiada profilowi wymagań. Omawiamy w nim kolejne aspekty bezpieczeństwa, kwestie związane z eksploatacją, właściwości fizyczne i sprawę kosztów.



### Bezpieczeństwo

W niektórych krajach rozwijających się kotły płomienicowo-płomieniówkowe nie znalazły szerokiego kręgu użytkowników. Tamtejsi wytwórcy kotłów płomienicowo-płomieniówkowych bazują na standardach jakościowych nijak nieporównywalnych z tymi, które obowiązują producentów niemieckich. To samo tyczy się wyposażenia zabezpieczającego przed przekroczeniem ciśnienia i brakiem wody. Odpowiednio niski jest więc poziom bezpieczeństwa. Z obawy przed katastrofalnymi następstwami eksplozji i rozerwania kotła parowego w krajach tych preferuje się kotły wodnorurkowe, które nie posiadają tak dużej pojemności wodnej jakiej ze względu na zasadę działania potrzebują kotły płomienicowo-płomieniówkowe. Podobny pogląd wyznają również niektórzy projektanci będący gorącymi zwolennikami konserwatywnej tradycji w tej dziedzinie. Oprócz bezpieczeństwa w krajach tych ważną rolę odgrywa naturalnie także krótka żywotność wytwarzanych tam kotłów płomienicowo-płomieniówkowych. W Niemczech na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat nie zdarzył się żaden katastrofalny wypadek w związku z kotłami płomienicowo-płomieniówkowymi. Do czynników, jakie zdecydowanie wywarły wpływ na brak tego typu zdarzeń, należy zaliczyć wprowadzenie w 1977 roku elektrod bezpiecznych w razie uszkodzenia służących do regulacji i ograniczenia poziomu wody oraz wdrożenie w 1985 roku reguł projektowania konstrukcji wewnętrznie bezpiecznych kotłów płomienicowo-płomieniówkowych [2]. Reguły projektowania konstrukcji wewnętrznie bezpiecznej przewidują rezygnację z pewnych zasad konstrukcyjnych (na przykład zespawane dna, zespórki usztywniające dna), możliwość oględzin i wejścia do wnętrza kotła oraz większe odległości między komponentami kotła o różnej temperaturze. Ważnym aspektem jest wprowadzenie wodnej próby ciśnieniowej ze zwiększonym nadciśnieniem testowym, co pozwala na łatwą i wysoce wiarygodną ocenę stanu i bezpieczeństwa



Zdjęcie 1: Wysokociśnieniowy kocioł płomienicowo-płomieniówkowy, konstrukcja dwupaleniskowa, 35 t/h, 16 bar

kotła płomienicowo-płomieniówkowego [3]. Wspomniane reguły i wyposażenie zaowocowały w Niemczech bezpieczną pracą kotłów płomienicowo-płomieniówkowych bez żadnych poważnych wypadków na przestrzeni dekad. Tego samego nie da się powiedzieć o innych rodzajach konstrukcji kotłów [4, 5].

Odpowiednio rygorystyczne standardy jakościowe produkcji i budowy kotłów płomienicowo-płomieniówkowych zapewniają wysoki poziom bezpieczeństwa i długą żywotność urządzeń. Projektanci i użytkownicy powinni wybierać produkty tych wytwórców, którzy mogą wykazać się dużą liczbą instalacji referencyjnych użytkowanych bezszkodowo.

### Eksplatacja

W tej części omawiamy wymagania dotyczące jakości wody, konserwacje i badania okresowe.

Jakość wody kotłowej i zasilającej mają kolosalne znaczenie oczywiście dla obu typów kotłów parowych. Niemniej jednak istnieją pewne istotne, kosztowne różnice pomiędzy parametrami wody wymaganymi dla każdego z tych typów. Dla większości modeli kotłów wodnorurkowych zaleca się pracę z wodą o niskim poziomie zasolenia [6]. Za niski poziom zasolenia wody dla kotłów wodnorurkowych uważa się przewodność wody kotłowej mniejszą niż lub równą 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Powszechnie używana i wymagana przy lokalnych gęstościach strumienia ciepła większych od 250  $\text{kW}/\text{m}^2$  jest woda zasilająca wolna od soli, co ma zapobiegać zatykaniu rur skutkującemu powstawaniem przeszkód utrudniających transfer ciepła. Wymagania te mogą być spełnione jedynie przez zainstalowanie stosunkowo skomplikowanych i kosztownych systemów uzdatniania wody.

Kotły płomienicowo-płomieniówkowe mogą pracować z reguły z wodą o wyższym poziomie zasolenia (przewodność mniejsza niż lub równa 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Szkodliwy wpływ zasolenia na powierzchnie grzejne kotła w tym wypadku nie



Zdjęcie 2: Ciepła woda 100 MW - kocioł wodnorurkowy podczas transportu

ma miejsca ze względu na możliwość efektywnego odsalania wody kotłowej. Do odpowiedniego przygotowania wody można wykorzystać proste urządzenia zmiękczające. Wybór metody uzdatniania wody jest warunkowany względami ekonomicznymi oraz jakością dostępnej wody surowej. Decydującym czynnikiem jest tu długość okresu amortyzacji stacji przygotowania wody w wyższym standardzie mogąca wynikać z redukcji odsolin. Kolejną różnicą jest moc cieplna w stosunku do wielkości kotła. Typowo, porównywalną moc oferują kotły płomienicowo-płomieniówkowe o znacznie mniejszych gabarytach, wymagające jednocześnie mniejszego pomieszczenia kotłowni. Co do konserwacji, to znacznie łatwiej wykonuje się czynności konserwacyjne przy kotłach płomienicowo-płomieniówkowych niż wodnorurkowych. Już samo uruchomienie i odstawienie kotła są o wiele

mniej skomplikowane, a powierzchnie grzejne są dostępne bez trudu. Podobnie ma się sprawa badań okresowych. W przypadku kotłów płomienicowo-płomieniówkowych, wytwarzanych według wcześniej wspomnianych reguł projektowania konstrukcji wewnętrznie bezpiecznych, sprawdza się niezwykle prosty, racjonalny i niedrogi sposób: kontrola wizualna istotnych elementów kotła po wodnej próbie ciśnieniowej ze zwiększonym nadciśnieniem testowym, w tym względzie patrz [3]. Pozwala on zrezygnować w daleko idącej mierze ze stosowania technik badań nieniszczących, takich jak ultradźwięki. W przypadku kotłów wodnorurkowych z powodów, które nie będą tu omawiane, wodna próba ciśnieniowa ze zwiększonym nadciśnieniem testowym nie przyjęła się. Ponadto, duże obszary typowego kotła wodnorurkowego nie są dostępne do kontroli wizualnych (przestrzenie zaizolowane). Dlatego też zastosowanie ultradźwięków i podobnych metod w obszernym zakresie jest konieczne.

Kryterium	Kocioł płomienicowo-płomieniówkowy	Kocioł wodnorurkowy
Jakość wody	Mniejsze wymagania, możliwa praca z wodą silnie zasoloną	Wysokie wymagania, większość typów konstrukcyjnych może pracować tylko z wodą wolną od soli
Konserwacja	Proste czyszczenie	Skomplikowana
Badania okresowe	Łatwe, oględziny po wodnej próbie ciśnieniowej ze zwiększonym ciśnieniem, pogłębione badania nieniszczące, np. ultradźwiękowe, rzadko i w niewielkim zakresie	Dodatkowo do wodnej próby ciśnieniowej badanie ultradźwiękowe lub podobne nieodzowne; odpowiednio wysoki nakład czasu i finansowy
Koszty przy porównywalnym poziomie nakładów wytwórczych i jakości	Niższe	Wyższe
Sprawność kotła	Wyższa, łatwa do utrzymania	Niższa, trudna do utrzymania podczas użytkowania
Zachowanie na obciążeniu częściowym	Zakres regulacji paleniska może być wykorzystany, w razie spadku obciążenia poniżej poziomu minimalnego palnik jest bez problemu wyłączany	Obciążenie częściowe musi być ograniczone w niektórych typach konstrukcyjnych, palnik nie może być wyłączony bez dodatkowych trudności
Pojemność wodna	Z zasady większa	Mniejsza
Zdolność akumulacyjna	Ze względu na dużą objętość wody odporność na wahania ciśnienia i obciążenia	Wrażliwość na wahania obciążenia i ciśnienia wymuszone przez procesy
Czas dostawy	Krótszy	Dłuższy
Potrzebna ilość miejsca na montaż	Niewiele miejsca	Potrzeba dużo miejsca
Czas montażu, pierwszego uruchomienia	Krótki	Dłuższy



### Właściwości fizyczne

W tym miejscu przedyskutujemy aspekty wynikające bezpośrednio z każdej z wymienionych zasad konstrukcyjnych: pojemność wodną, zdolność akumulacyjna, zachowanie na obciążeniu częściowym.

Kocioł płomienicowo-płomieniówkowy ma znacznie większą pojemność wodną w stosunku do wytwarzanej mocy cieplnej niż kocioł wodnorurkowy. Dlatego kocioł płomienicowo-płomieniówkowy jest odporniejszy na wahania obciążenia czy też na żądania ciepła chwilowo przekraczające moc znamionową kotła.

Poza krótkotrwałym wzrostem wilgotności pary nie należy się spodziewać żadnych

innych skutków, w szczególności nie należy

martwić się niekorzystnym wpływem na przepływ ciepła.

Takie zachowanie oczywiście nie cechuje

kotła wodnorurkowego. Wahania ciśnienia

nieuchronnie wpływają na transfer ciepła ze

względu na towarzyszącą im zmianę gęstości.

Duża pojemność wodna kotła płomienicowo-

płomieniówkowego ma jednak oprócz opisanych zalet także

swoje wady przejawiające się w fazie rozruchu kotła ze

stanu zimnego. Czas, jaki musi minąć do chwili, gdy kocioł

może zacząć dostarczać parę, jest znacznie dłuższy niż

w przypadku kotła wodnorurkowego o porównywalnych

parametrach ciśnienia i wydajności. Dodatkowo, każdy

rozruch zimnego kotła płomienicowo-płomieniówkowego

wywołuje dużo większe mechaniczne obciążenie niż praca w

stacjonarnym trybie regulacyjnym [8]. Stąd wynika, że zimny

start kotła płomienicowo-płomieniówkowego

powinien być przeprowadzony w jak najłagodniejszy

sposób. Ze względu na mniejszą pojemność wodną kocioł

wodnorurkowy może być używany w różnych krajach także z

większymi wydajnościami jako tak zwany kocioł produktowy,

a więc z wykorzystaniem uproszczonych warunków montażu

[7].

Zasadnicze znaczenie dla żywotności kotłów parowych

ma liczba startów palnika. Decydującym czynnikiem

jest tutaj, oprócz optymalnego doboru kotła do potrzeb

instalacji, wielkość minimalnego obciążenia, z jakim

może działać kocioł. W przypadku kotłów płomienicowo-

płomieniówkowych to minimalne obciążenie odpowiada

najmniejszej mocy cieplnej paleniska wyznaczonej przez

palnik. W przypadku kotłów wodnorurkowych określonej

konstrukcji wytwarzających parę przegrzaną to minimalne

obciążenie palnika zwykle nie może przełożyć się wprost

na kocioł, ponieważ zmniejszenie strumieni masowych po

stronie wodnej negatywnie rzutuje na transfer ciepła, co

może wywołać niepożądane skutki w postaci przepalenia w

obszarze wysokich gęstości strumienia ciepła.

### Koszty i terminy

Jeśli tylko wymagania w zakresie dostaw ciepła mogą być w pełni zaspokojone przez kilka kotłów płomienicowo-płomieniówkowych, wybór tychże stanowi tańszą alternatywę, zakładając porównywalny koszt produkcji i poziom jakości. Ponadto czas dostawy i czas potrzebny na zamontowanie systemu są z reguły krótsze.

Kotły płomienicowo-płomieniówkowe zazwyczaj mają też większą sprawność niż kotły wodnorurkowe przy porównywalnej temperaturze i składzie spalin ze względu na mniejsze straty przez promieniowanie i przewodzenie. Lepsze możliwości konserwacji pozwalają na łatwiejsze utrzymanie w eksploatacji, co z kolei obniża koszty użytkowania kotła płomienicowo-płomieniówkowego.

### Podsumowanie

Zazwyczaj obszary zastosowania kotłów płomienicowo-płomieniówkowych i kotłów wodnorurkowych są jasno rozgraniczone. Zwyczajnie niemożliwe jest użycie kotłów płomienicowo-płomieniówkowych do produkcji 1000 ton pary na godzinę o ciśnieniu 180 bar i temperaturze 450 °C.

Do produkcji ok. 200 t/h o

ciśnieniu 30 bar i temperaturze 300 °C przeważnie jeden lub

kilka kotłów płomienicowo-płomieniówkowych jest lepszą, bo tańszą w zakupie i eksploatacji alternatywą.

Nowoczesne metody produkcji i reguły projektowania konstrukcji wewnętrznie bezpiecznych zapewniają wysoki poziom bezpieczeństwa i długą żywotność kotłów.

Omówione aspekty zostały podsumowane w poniższej tabeli.



## Bosch Industriekessel GmbH

Nuernberger Straße 73  
91710 Gunzenhausen/Niemcy

[www.bosch-industrial.com](http://www.bosch-industrial.com)

**LOOS**  
KOTŁY PRZEMYSŁOWE

## LOOS Centrum Sp. z o.o.

ul. Marii Kazimierzy 35

01-641 Warszawa

 +48 22 561 90 90

 [loos@loos.pl](mailto:loos@loos.pl)

[www.loos.pl](http://www.loos.pl)

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

Dołącz do nas na

**LinkedIn**

<https://www.linkedin.com/company/loos-kotly-przemyslowe-bosch/>

<https://www.linkedin.com/in/bernhard-morawietz-kotly-przemyslowe-bosch/>

**YouTube**

[https://www.youtube.com/channel/UCy-28sagt844xzdAAMMN\\_ew](https://www.youtube.com/channel/UCy-28sagt844xzdAAMMN_ew)



## 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

Modernizacja + 48 734 128 755

Serwis + 48 602 190 003

Części + 48 735 202 861

