

Planowanie optymalnej wydajności instalacji kotłowej

Inż. Hardy Ernst, LOOS INTERNATIONAL

Zasady planowania optymalnego wytwarzania pary i gorącej wody (obniżenie kosztów = korzyści dla użytkownika)

Jeśli wizja naszych polityków co do redukcji CO₂ ma się urzeczywistnić, musimy stale pracować na udoskonaleniem technicznym kotłów parowych i wodnych w ramach 1. BImSchV i Wytycznej dla utrzymania czystości

powietrza TA-Luft. Chodzi tu o redukcję inwestycyjnych i eksploatacyjnych kosztów wytwarzania pary i ciepła do celów przemysłowych i komunalnych przez kotły o wydajności do 55 t/h i mocy do 38 MW.

1. Programy grzewcze zamiast większych kotłów

Optymalizacja wydajności instalacji kotłowej zaczyna się już od starannego obliczenia zapotrzebowania ciepła i pary. Projektanci instalacji kotłowych zwykle zawyżają moc kotła, tak aby pokrywał on rzadkie szczyty obciążenia, nie bacząc na to, że faktycznie kocioł ten pracuje głównie na małym obciążeniu, co przy jego dużej mocy powoduje częste włączenia i wyłączenia palnika, a więc jego praca jest nie ekonomiczna, a dodatkowo też niepotrzebnie obciąża środowisko. Programy grzewcze i rozruchowe, w których rozróżnia się odbiorców priorytetowych i pozostałych, pozwalają na dobór odpowiedniejszego kotła o mniejszej mocy. Dzięki temu zwiększa się jednocześnie zakres regulacji dla ekonomicznego przechodzenia z małego na większe obciążenie.

2. Rozdzielenie pary technologicznej i grzewczej zmniejsza koszty eksploatacyjne

Odbiór ciepła o najwyższej tempera-

turze lub pary o najwyższym ciśnieniu jest decydujący dla obliczenia parametrów kotła. Wraz ze wzrostem ciśnienia obliczeniowego kotła rosną jednak też koszty całej instalacji. Staje się to nieopłacalne, jeśli wysokociśnieniowy kocioł parowy ma wytwarzać parę do celów produkcyjnych i jednocześnie do ogrzewania budynków. Małe zapotrzebowanie ciepła o niskiej temperaturze poza fazami produkcji wskazuje na celowość oddzielnego wytwarzania ciepła. A do tego dochodzą jeszcze oszczędności wynikające z tego, że kotły o maksymalnej temperaturze 110 °C nie wymagają stałego nadzoru. Wskazane jest więc pod każdym względem, aby odbiorca wymagający bardzo wysokiego ciśnienia i stosunkowo małej ilości ciepła otrzymał swój własny kocioł.

3. Bardzo małe obciążenie wymaga rozdziału łącznej mocy

Powodem do rozdziału łącznej mocy na kilka kotłów jest, obok zabezpieczenia zasilania, wielkość różnicy między najmniejszym a największym zużyciem ciepła. Najniż-

sze zapotrzebowanie mocy często jest nawet mniejsze od minimalnego obciążenia kotła, uzasadniony jest więc rozdział mocy dostosowany do małego obciążenia. Pozwala to na uniknięcie ciągłych włączeń i wyłączeń palnika i związanych z tym strat, przedwczesnego zużycia kotła, a także obciążeń dla środowiska. W dużych instalacjach granica mocy źródła ciepła określa liczbę zainstalowanych kotłów. Optymalny jest rozdział łącznej mocy na jednakowe kotły. Zmniejszy się w ten sposób zużycie części zamiennych. Tylko jeśli tak dobrany najmniejszy kocioł nie jest w stanie pracować ekonomicznie na najmniejszym obciążeniu powinno się użyć kotła o dostosowanym obciążeniu minimalnym. Dalszą zasadą określenia wielkości kotłów w instalacji jest wyrównanie godzin rocznej eksploatacji każdego kotła.

3.1 Kotły dwupłomienicowe lepsze dla dużego zapotrzebowania mocy

Moc kotła jednopłomienicowego

jest ograniczona konstrukcyjnie i ustawowa. LOOS buduje kotły jednopłomienicowe o mocy do ok. 19 MW i wydajności 28 t/h. Norma europejska EN dopuszcza kotły jednopłomienicowe z palnikami olejowymi o ciśnieniu $p > 0,5$ bar na maksymalnie 12 MW i 18 t/h. Dla nie promieniujących palników na gaz ziemny dopuszcza się moc większą o 30 %. Dla dużych mocy łącznych, złożonych z więcej niż trzech kotłów jednopłomienicowych, korzystniejsze jest użycie kotłów dwupłomienicowych.

3.2 Kotły dwupłomienicowe do pracy z jedną płomienicą

Większość użytkowników wymaga dynamicznego dopasowania kotłów do silnych wahań zapotrzebowania ciepła. Dlatego powinno się stosować kotły dwupłomienicowe, przystosowane i dopuszczone do nieograniczonej pracy z jedną płomienicą. Kotły te są nie tylko wyposażone w oddzielne drogi spalin, ale także specjalnie skonstruowane do pracy z jedną płomienicą. Oba palniki są w pełni wyposażone i mogą pracować oddzielnie lub równolegle. Palniki są automatycznie włączane i wyłączane na zasadzie kaskady zależnie od zapotrzebowania ciepła, a kocioł dysponuje zakresem od małego obciążenia jednego palnika do maksymalnego obciążenia obu palników.

W ten sposób podwaja się modulatory zakres regulacji, a na wyjątkowo małym obciążeniu częstotliwość włączeń i wyłączeń palnika spada o połowę.

Doprowadzenie paliwa przechodzące przez duży zakres regulacji zapewnia nieprzerwanie przenoszenie ciepła i dynamiczny obieg wody kotłowej. W razie zakłóceń w pracy jednego palnika kocioł nadal dysponuje 50 % łącznej mocy (rys. 1).

4. Optymalna kombinacja kocioł/palnik zwiększa korzyści odnoszone przez użytkownika

Producenci kotłów zorientowani na potrzeby klienta oferują różne kombinacje kocioł / palnik, mając na celu jak największe korzyści odnoszone przez użytkownika. Na rys. 2 porównano dwa typy kotłów obliczone na to samo zapotrzebowanie ciepła 3000 kW, 90/70 °C, ogrzewanie gazem ziemnym.

Wybór kotła typu UT 3700 dla 3000 kW mocy cieplnej daje większe korzyści odnoszone przez użytkownika dzięki:

- mniejszemu palnikowi
- mniejszej mocy przyłączeniowej silnika palnika
- większemu zakresowi regulacji palnika
- mniejszej częstotliwości załączeń palnika na małym obciążeniu

- wyższej sprawności kotła
- mniejszemu zużyciu paliwa
- mniejszej zawartości szkodliwego NOx w spalinach
- tej samej cenie zakupu, ponieważ wyższa cena kotła jest kompensowana niższą ceną palnika

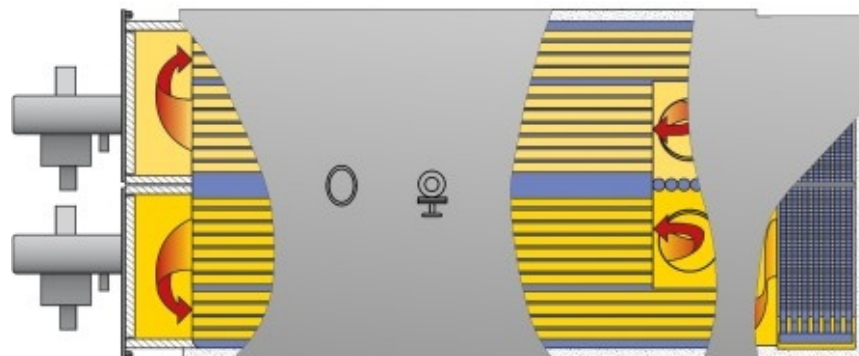
Nie zawsze w większym kotle można zainstalować mniejszy palnik. Dlatego należy też zbadać możliwości nawet niewielkiego zmniejszenia mocy grzejnej, zwłaszcza przy rozdziale łącznej mocy instalacji wielokotłowej na kilka kotłów.

5. Oszczędzanie z ekonomizyrem

Ekonomizery oferują ogromne możliwości oszczędności energii i obciążenia środowiska.

5.1 Ekonomizery do pracy „suchej”

Kotły parowe są przeważnie zasilane całkowicie odgazowaną wodą zasilającą o temperaturze ok. 103 °C. Temperatura spalin na wyjściu kotła jest warunkowana temperaturą wody kotłowej i obciążeniem kotła. Umieszczony w strumieniu spalin ekonomizery optymalizuje wydajność kotła odprowadzając ciepło spalin do wody zasilającej.



Rys. 1: Trójciągowy kocioł dwupłomienicowy z oddzielnymi drogami spalin, przystosowany do pracy z jedną płomienicą, ze zintegrowanym ekonomizyrem do przygotowania wody zasilającej.

Kombinacja kotła / palnik		A	B
Typ kotła	UT	3050	3700
Moc kotła	kW	3000	3000
Opór kotła	mbar	9,5	8,1
Wymagany typ palnika	G	11	10
Silnik palnika	kW	12	9
Zakres regulacji palnika		1 : 3,5	1 : 4,5
Sprawność kotła	%	91,1	92,8
Ilość paliwa	mł/h	323	317
Własc. obciążenie palnika	MW/mł	1,8	1,5
Zawartość NOx w spalinach	mg/mł	150	140
Cena			
Kocioł + palnik gazowy	€	42900,-	42500,-

Rys. 2: Porównanie dwóch kombinacji kotła/palnik (ceny: stan na 01/2000, niewiążące)

Kotły parowe LOOS typu UNIVERSAL UL-S-IE (kotły jednopłomienicowe o wydajności do 28 t/h) i ZFR-IE (kotły dwupłomienicowe o wydajności do 55 t/h) są wyposażone w zintegrowany ekonomizer w zaizolowanej cieplnie komorze spalinowej. Ekonomizer jest zamontowany na kotle, i gotowy do podłączenia, w związku z czym nie ma potrzeby budowania dodatkowego fundamentu i montażu na miejscu budowy. Do starszych kotłów, które nie posiadały ekonomizera, dostarczamy autonomiczne ekonomizery kompaktowe ECO-S.A., ustawiane i podłączane bezpośrednio za kotłem.

Praca „sucha” nadaje się dla oleju lekkiego i gazu ziemnego, również w połączeniu z wrażliwymi na wilgoć kominami. Regulacja temperatury spalin pozwala uniknąć spadku temperatury poniżej temperatury rosenia. Ekonomizery łącznie z obudową, kanałami spalinowymi i ewentualnymi tłumikami spalin mogą być wykonane ze stali. Ekonomizery do pracy „suchej” mogą zwiększyć sprawność kotła do ponad 95 % (rys. 3).

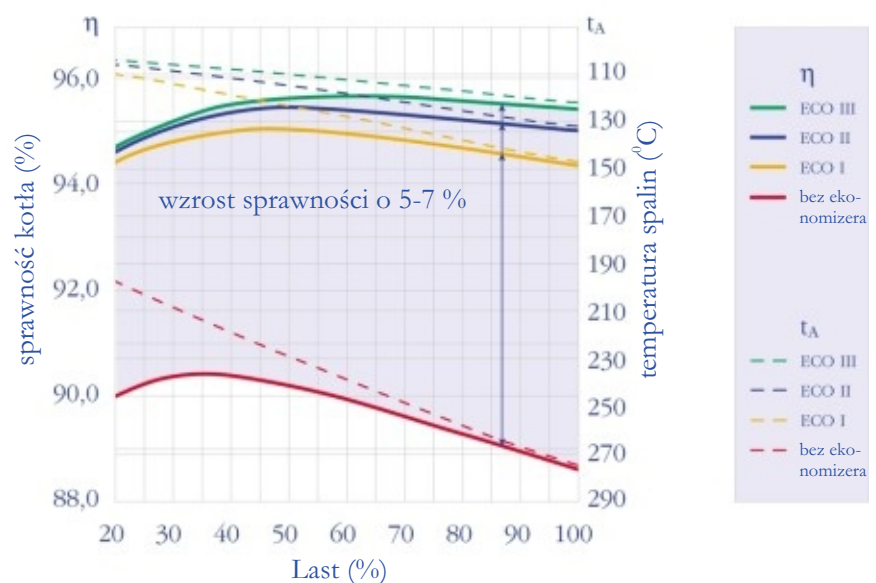
Wysokociśnieniowe kotły wodne do wytwarzania ciepła technologicznego i zdalnego pracują prze-

ważnie z temperaturą powrotu przekraczającą 100 °C, więc i tu można zainstalować ekonomizer do pracy „suchej”. Przez ekonomizer przepływa wówczas częściowy strumień powrotu.

Nowe wysokociśnieniowe kotły wodne LOOS posiadają zintegrowany ekonomizer w komorze spalinowej. Do starszych kotłów, które nie posiadały ekonomizera, dostar-

czamy autonomiczne ekonomizery kompaktowe ECO-S.A., ustawiane i podłączane bezpośrednio za kotłem. Ekonomizery są wyposażone w regulację temperatury alternatywnie po stronie wodnej lub spalinowej w celu uniknięcia spadku temperatury poniżej temperatury rosenia w ECO i/lub kominie.

Wytownice gorącej wody do bezpośredniego ogrzewania budynków pracują na możliwie najniższych temperaturach. Z temperatury zasilania/powrotu kotła i ich różnicy wynikają średnie temperatury wody kotłowej 60 - 100 °C. Kotły pracujące ekonomicznie mogą uzyskać temperaturę spalin na wyjściu kotła 150 - 190 °C na pełnym obciążeniu i 80 - 120 °C na małym obciążeniu. Kotły do ogrzewania budynków pracują na pełnym obciążeniu tylko przez kilka w dni w roku. Większość czasu pracują na średnim i małym obciążeniu. Sprawność kotła na mniejszych obciążeniach wynosi 93 - 94 %, więc ekonomizer do pracy „suchej” nie jest tu praktycznie celowy ze względów ekonomicznych.



Rys. 3: Optymalizacja wydajności kotła dzięki ekonomizerowi do pracy „suchej”

5.2 Ekonomizer do pracy „mokrej”

Kotły ogrzewane gazem ziemnym produkują spaliny pozbawione sadzy i siarki. Ciepło spalin można wykorzystać jako dodatkową moc grzejącą. W kotłach przemysłowych za ekonomizerem do pracy „suchej”, służącym do przygotowania wody zasilającej, instaluje się drugi wymiennik ciepła ze stali szlachetnej, służący jako kondensator spalin. Wszystkie drogi spalin za nim wykonane są również ze stali szlachetnej i wyposażone w odporne na korozję przewody kondensatu. Warunkiem wykorzystania kondensacji spalin jest niska temperatura odbiorów. Przykład: w zakładach produkcyjnych z bezpośrednim obiegiem pary, bez powrotu kondensatu, chemicz-

nie przygotowaną wodę uzupełniającą można podgrzać i/lub wytworzyć lub podgrzać wodę użytkową (rys. 4).

Kondensacja spalin nie jest stosowana w wysokociśnieniowych kotłach gorącej wody, ponieważ temperatura powrotu z sieci znacznie przekracza temperaturę rosenia.

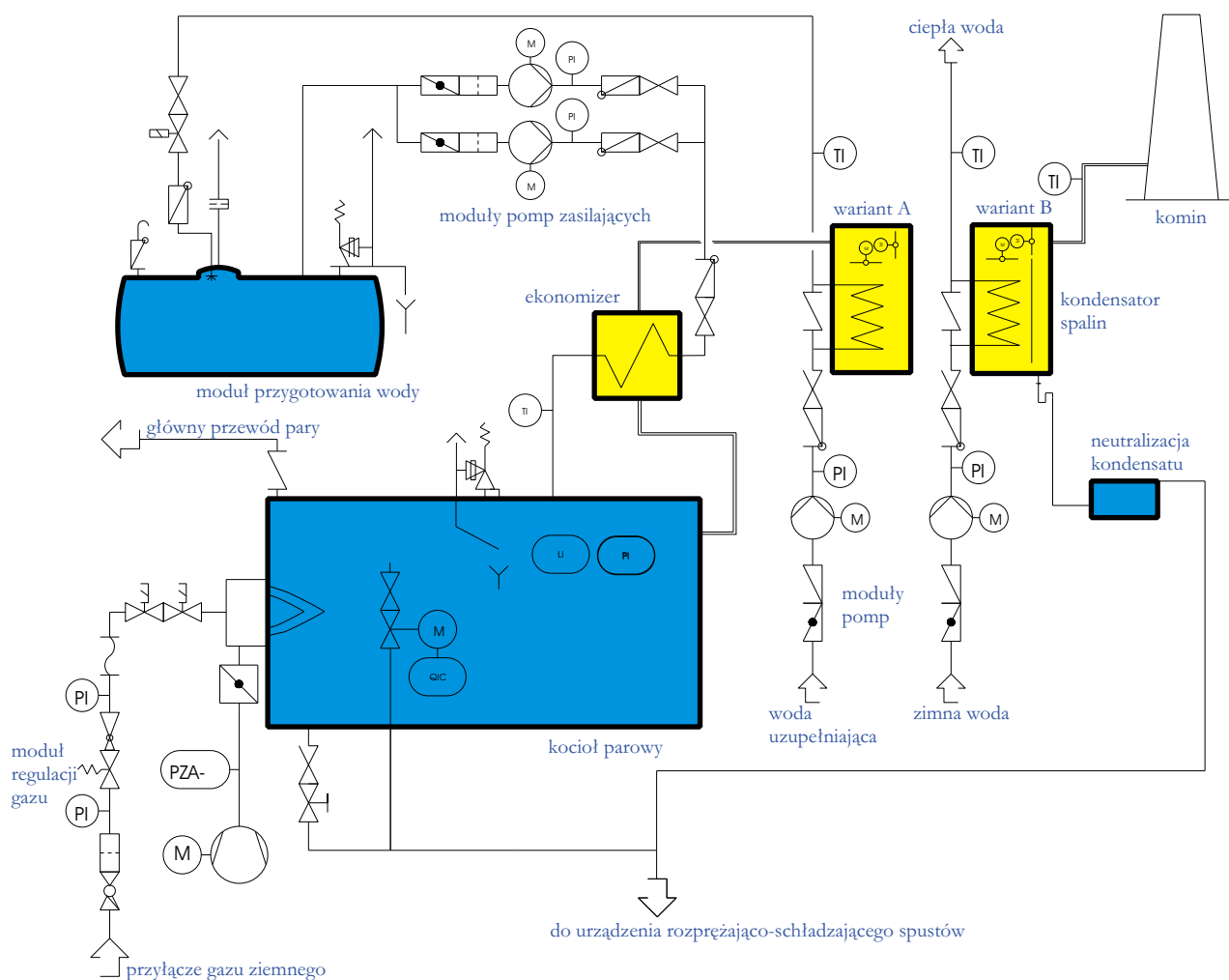
Wytwornice gorącej wody z ogrzewaniem gazem ziemnym mogą być również wyposażone w spalinowe wymienniki ciepła do pracy „mokrej” (rys. 5). Obieg grzewczy o niskiej temperaturze przechodzi przez spalinowy wymiennik ciepła ze stali szlachetnej, powodując kondensację spalin.

Sprawność kotła może wzrosnąć w zależności od temperatury powrotu do ponad 105 % w odniesieniu do dolnej wartości opałowej paliwa (rys. 6). W kotłach z palnikami na

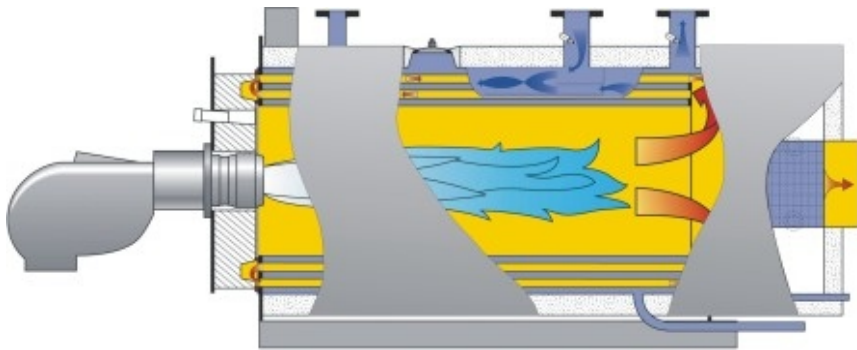
dwa paliwa gaz i olej spalinowe wymienniki ciepła są wyposażone w obejście przestrzeni spalinowej i klapę nastawczą do obejścia wymiennika ciepła przy oleju.

5.3 Usuwanie kondensatu

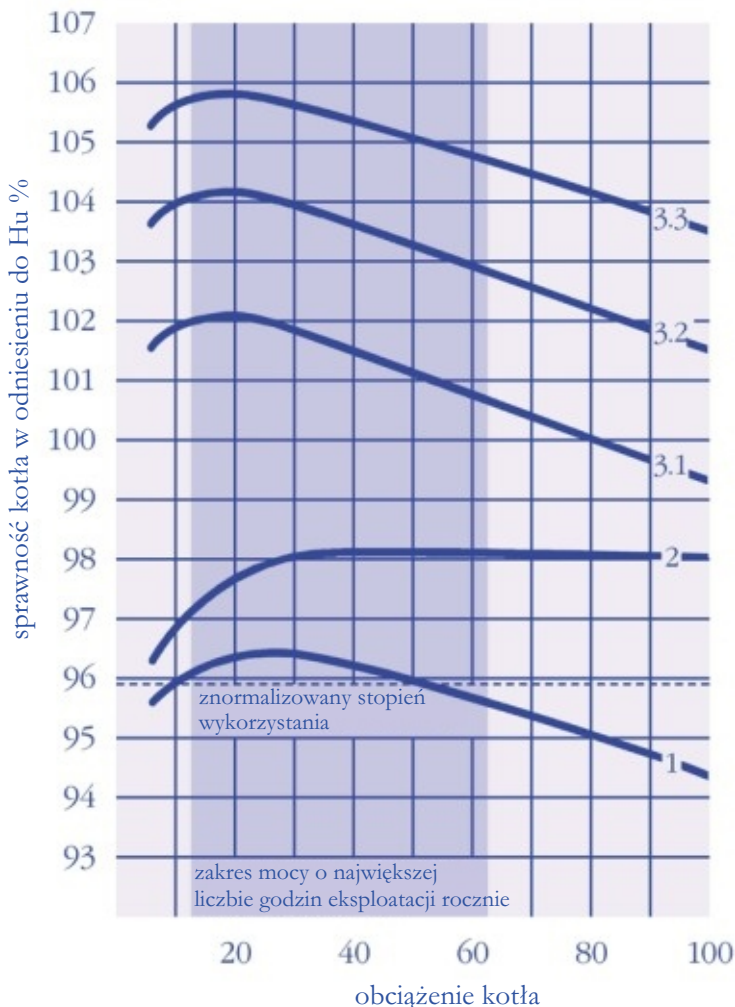
Produktem kondensacji spalin może być kondensat w ilości do 1 kg/Nm³ zużycia gazu ziemnego o wartości pH 3,5 - 4,5 i temperaturze ok. 50 - 60 °C. Do neutralizacji w małych kotłach stosuje się filtry z wymiennym wkładem dolomitowym, a w dużych kotłach zbiorniki z dozownikami dla ługu sodowego. Przy właściwym doborze i zwymiarowaniu urządzenia do neutralizacji dotrzymane są dopuszczalne parametry do odprowadzenia kondensatu do publicznej sieci kanalizacyjnej. Odprowadzanie kondensatu wymaga zgody właściwych władz.



Rys. 4: Kocioł parowy z pracą dwustopniową ekonomizer/kondensator spalin, optymalizacja mocy do 15 % mocy kotła. Ekonomizer: podgrzewacz wody zasilającej do pracy „suchej”. Kondensator spalin: dodatkowy podgrzewacz wody użytkowej do pracy „mokrej”.



Rys. 5: Kocioł wodny jednopłomienicowy trójciągowy z ekonomizerem



Rys. 6: Krzywe sprawności kotła gorącej wody UNIMAT

- 1 kocioł bez spalinowego wymiennika ciepła 70/50 °C
- 2 kocioł ze spalinowym wymiennikiem ciepła do pracy „suchej”
- 3 kocioł ze spalinowym wymiennikiem ciepła do wykorzystania ciepła kondensacji
 - 3.1 temperatura wejścia wody 50 °C
 - 3.2 temperatura wejścia wody 40 °C
 - 3.3 temperatura wejścia wody 30 °C

6. Instalacje wielokotłowe ze zoptymalizowanym układem włączania kaskadowego

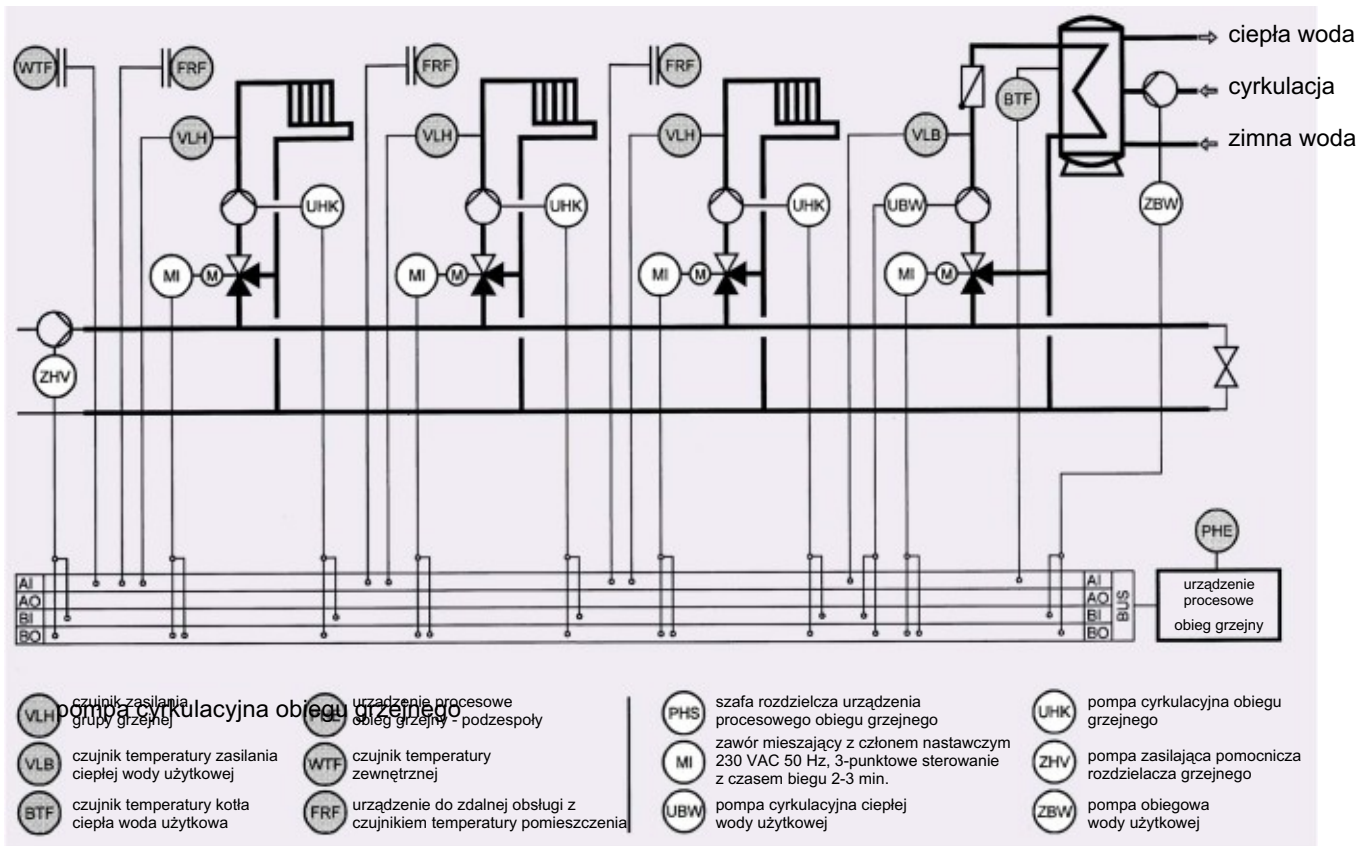
Koncepcja instalacji wielokotłowej umożliwia zwiększenie opłacalności i optymalizację wydajności kotłów. Jako przykład może tu służyć instalacja wielokotłowa do ogrzewania budynków. W przeciwieństwie do instalacji jednokotłowej instalacja wielokotłowa wymaga lepszego przełączania hydraulicznego i regulacji.

6.1 Regulacja obiegu grzewczego

Przy zabezpieczeniu ciągłego zasilania odbiory wymagają jak najlepszego dostosowania do zapotrzebowania ciepła. Wahania w zapotrzebowaniu ciepła najlepiej są pokrywane przez stały strumień objętości o zmiennej temperaturze. W tym celu w obiegu grzewczym instaluje się trójdrogowy zawór mieszający do wprowadzania powrotu do zasilania. Sterowana warunkami atmosferycznymi regulacja temperatury zasilania obiegu grzewczego działa na człony nastawcze trójdrogowych zaworów mieszających i zasilą odbiory medium grzewczym o temperaturze właśnie wymaganej dla dostatecznej ilości ciepła (rys. 7).

6.2 Regulacja obiegu kotła

Kotły wodne wysokotemperaturowe wymagają przestrzegania minimalnej temperatury powrotu. Tutaj trójdro-



Rys. 7: Obieg grzewczy z systemem DDC, urządzeniem procesowym i blokami modułowymi do sterowania, regulacji i kontroli

gowe zawory mieszające do wprowadzania wody z zasilania do powrotu są instalowane w hydraulicznych obiegach kotłowych. Ilość ciepła wytwarzanego przez jeden lub kilka kotłów wodnych jest zwiększana lub zmniejszana w zależności od temperatury zewnętrznej WTF, temperatury zasilania systemu VLK i różnicy temperatur zasilania/powrotu systemu VLK/RLK.

Jeżeli ilość ciepła wytwarzanego przez kocioł prowadzący nie jest wystarczająca, uruchamiane są szeregowo pompa i palnik kotła nadążającego. Kocioł nadążający jest rozgrzewany do minimalnej temperatury powrotu. Następnie następuje oddanie ciepła przez trójdrogowy zawór mieszający do zasilania systemu (rys. 8). Przy mniejszym zapotrzebowaniu ciepła - rozpoznawalnym po odwróceniu współczynników wzrostu mocy - w odwrotnej kolejności

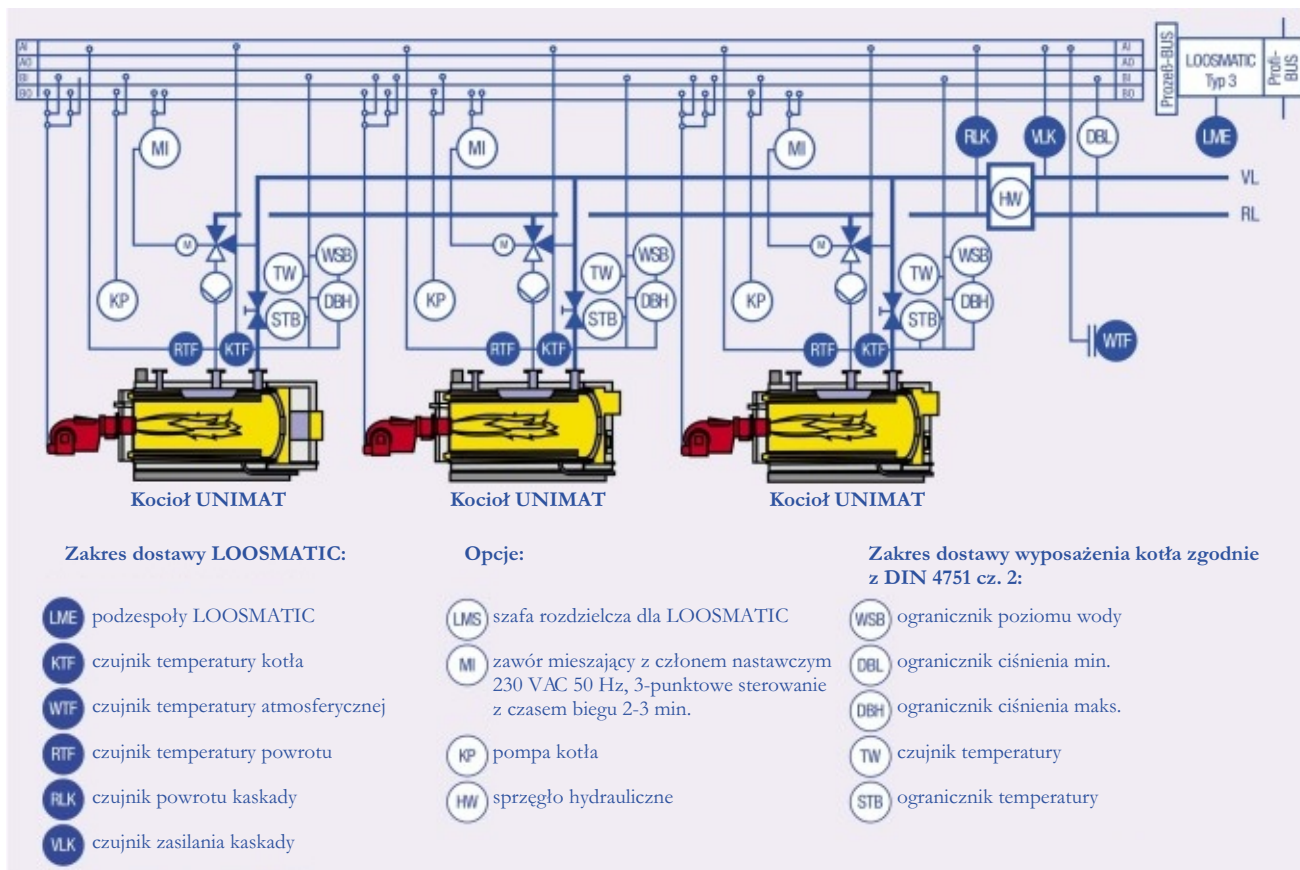
następuje redukcja mocy kotła aż do zatrzymania się pompy kotła prowadzącego. Aby uniknąć częstych załączeń palniki są włączane i wyłączane ze zwłoką (stopnie).

6.3 Strumienie objętości

Hydrauliczne przełączanie instalacji wielokotłowej wymusza wpływające na siebie wzajemnie różne strumienie objętości, wynikające pierwotnie z regulacji obiegiem kotła i wtórnie z regulacji obiegiem grzewczym. „Sztwyne” szeregowo włączanie regulacji pierwotnej i wtórnej może spowodować, np. przez dodanie zaworów mieszających obiegów grzewczych MI, zbliżenie się pierwotnego strumienia objętości do zera, co z kolei nie pozwoli na zapewnienie minimalnego strumienia objętości dla kotła grzewczego i stałego zasilania czujnika VLK.

6.4 Sprzęgło hydrauliczne

Absolutnie niezawodnym rozwiązaniem tego problemu jest sprzęgło hydrauliczne. Dzięki niemu strumienie objętości po stronie pierwotnej i wtórnej zostają hydraulicznie odsprężone, co wyklucza ich wzajemny wpływ. Umieszczenie wspólnego czujnika VLK na wyjściu wtórnym zapewnia zasilanie czujnika pierwszym wymaganiem ciepła. Kotły aktualnie nie pracujące zostają hydraulicznie zablokowane zgodnie z rozporządzeniem o urządzeniach grzewczych. Każdy kocioł jest zasilany podobnym stałym strumieniem objętości. Pompy kotłowe należy podzielić odpowiednio do nominalnych mocy kotłów grzewczych. Całkowita wydajność pomp powinna odpowiadać co najmniej 1,1-krotności, maksymalnie 1,5-krotności całkowitego strumienia objętości obiegu grzewczego.



Rys. 8: Sterowana warunkami atmosferycznymi regulacja obiegu kotła i kaskada z systemem DDC, urządzeniem procesowym do sterowania, regulacji i kontroli.

6.5 Regulacja

Niezawodne funkcjonowanie i optymalizacja instalacji wielokotłowej wymagają wydajnego systemu regulacji. Regulacja, obok zadań regulacji, powinna uzyskać jak najniższe zużycie energii przy jak najmniejszym obciążeniu dla środowiska. System regulacji regulować obieg grzejny i kaskadę instalacji wielokotłowej zależnie od warunków atmosferycznych. Regulacja każdego obiegu kotłowego przejmując kontrolę kotłów grzewczych, regulację oraz włączanie i wyłączanie palników i pomp kotłowych. Przez wspólny system magistralowy następuje ciągła wymiana danych między regulatorami, więc instalacja automatycznie przestawia się na najwyższe zapotrzebowanie ciepła.

7. Zusammenfassung

Optymalizacja wydajności rozpoczyna się od gruntownego obliczenia parametrów takich jak ilość ciepła, ciśnienie i temperatura. Istotne są zapotrzebowania szczytowe i słabe obciążenie. Te dwa ostatnie parametry warunkują rozdział mocy na kilka. Pozostaje kwestia ustalenia rozdziału ciepła technologicznego i grzewczego.

Przy dużych mocach opłacalne jest zastosowanie dwupłomienicowych kotłów płomienicowo-płomieniówkowych przystosowanych do pracy z jedną płomienicą. Kotły i palniki należy traktować jako jedną całość, co pomoże producentowi kotła dobrać optymalną kombinację kocioł/palnik w odniesieniu do za-

potrzebowania ciepła. Zależnie od dostępnych paliw można stosować różne systemy do odzyskiwania ciepła spalin.

Najwyższa wydajność jest uzyskiwana w kotłach z palnikami na gaz ziemny w wyniku kondensacji spalin. Dzisiejsze technologie mikroprocesorowe umożliwiają maksymalne zoptymalizowanie wydajności instalacji wielokotłowej. Przy doborze odpowiedniego sprzęgła hydraulicznego kotły grzewcze mogą być sterowane warunkami atmosferycznymi z najwyższym stopniem wykorzystania.

Projektanci instalacji mają więc wiele możliwości zaprojektowania kotłów o optymalnej wydajności.