



Politechnika Wroclawska

Zakład Miernictwa i Ochrony Atmosfery, W-9/I-20

Siłownie ciepłne – laboratorium

Bloki ciepłownicze elektrociepłowni

Instrukcja do ćwiczenia nr 3

Opracował: dr inż. Andrzej Tatarek

Wrocław, grudzień 2008 r.

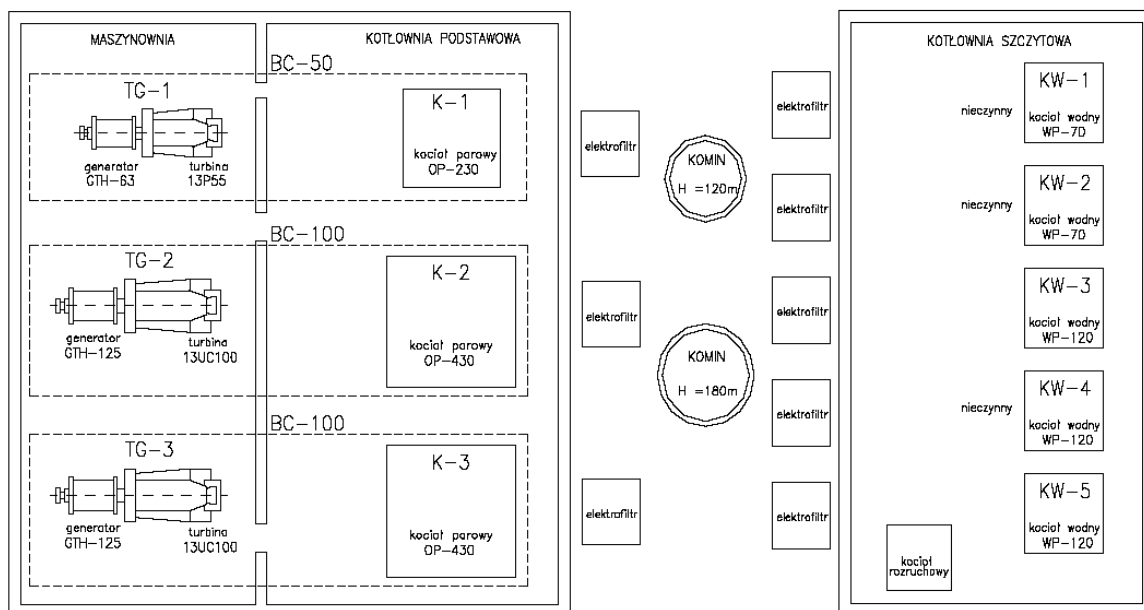
1. Wstęp

Elektrociepłownia omawiana na zajęciach laboratoryjnych jest ciepłą elektrociepłownią blokową z otwartym układem wody chłodzącej (dla układów pseudokondensacji), wyposażoną w trzy bloki ciepłownicze z turbinami przeciwpięźnymi oraz dwa szczytowe kotły wodne. Paliwem podstawowym elektrociepłowni jest węgiel kamienny – miał energetyczny klasy MIIA. Spalany węgiel pochodzi z polskich kopalń węgla kamiennego zlokalizowanych na Górnym Śląsku. Działalność koncesjonowana elektrociepłowni obejmuje: wytwarzanie energii elektrycznej, wytwarzanie ciepła, obrót energią elektryczną, przesyłanie i dystrybucję ciepła. Działalność dodatkowa obejmuje: sprzedaż ubocznych produktów spalania (popiół, żużel) oraz sprzedaż wody zdemineralizowanej.

Proces technologiczny realizowany w elektrociepłowni polega na jednoczesnym wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła ze strumienia energii chemicznej zawartego w paliwie (skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła, tzw. kogeneracja). Procesy tego rodzaju charakteryzują się wysoką efektywnością ekonomiczną, realizowaną przez zminimalizowanie ilości procesowego ciepła odpadowego. Wytwarzane w elektrociepłowni ciepło służy do zaspokajania potrzeb cieplnych miasta Wrocławia. Podstawowo energia elektryczna produkowana jest w skojarzeniu w turbogeneratorach bloków ciepłowniczych i dostarczana jest do krajowej sieci elektroenergetycznej. Wytworzone ciepło przeznaczone jest do ogrzewania miasta Wrocławia za pomocą systemu ciepłowniczego. Część szczytowa elektrociepłowni (kotły wodne) wykorzystywana jest tylko w okresach maksymalnego zapotrzebowania na ciepło.

Produkcja energii odnawialnej (energii elektrycznej i ciepła) jest tutaj realizowana w procesie współspalania biomasy i paliwa konwencjonalnego (węgla kamiennego) w parowych kotłach energetycznych OP-230 i OP-430. Energia elektryczna zaliczana do energii z odnawialnych źródeł energii jest wytwarzana w generatorach turbozespołów bloków nr 1, 2, 3 (bloki BC-50 i BC-100) a ciepło w wymiennikach ciepłowniczych zasilanych parą wylotową z turbozespołów. Produkcja ciepła w kotłach wodnych KW-3, KW-5 (część szczytowa) nie jest realizowana w technologii współspalania węgla z biomasą. Zanim biomasa podana zostanie do kotłów parowych, jest mechanicznie czyszczona, musi być wolna od zanieczyszczeń (np. kawalków metalu, kamieni, ziemi).

Rysunek 1 przedstawia aktualne rozmieszczenie urządzeń wytwórczych w elektrociepłowni. Urządzenia maszynowni i kotłowni bloku BC-50 są obecnie remontowane w celu umożliwienia ich dalszej wieloletniej pracy.



Rys. 1. Rozmieszczenie urządzeń wytwórczych w elektrociepłowni, [1]

Podstawowymi elementami składowymi bloku BC-50 są: kocioł parowy OP-230 i turboszpół przeciwny złożony z turbiny 13P 55-0-3 i generatora TGHW-63.

Podstawowymi elementami składowymi bloku BC-100 są: kocioł parowy OP-430 i turboszpół przeciwny złożony z turbiny 13UC100 i generatora TGH-125.

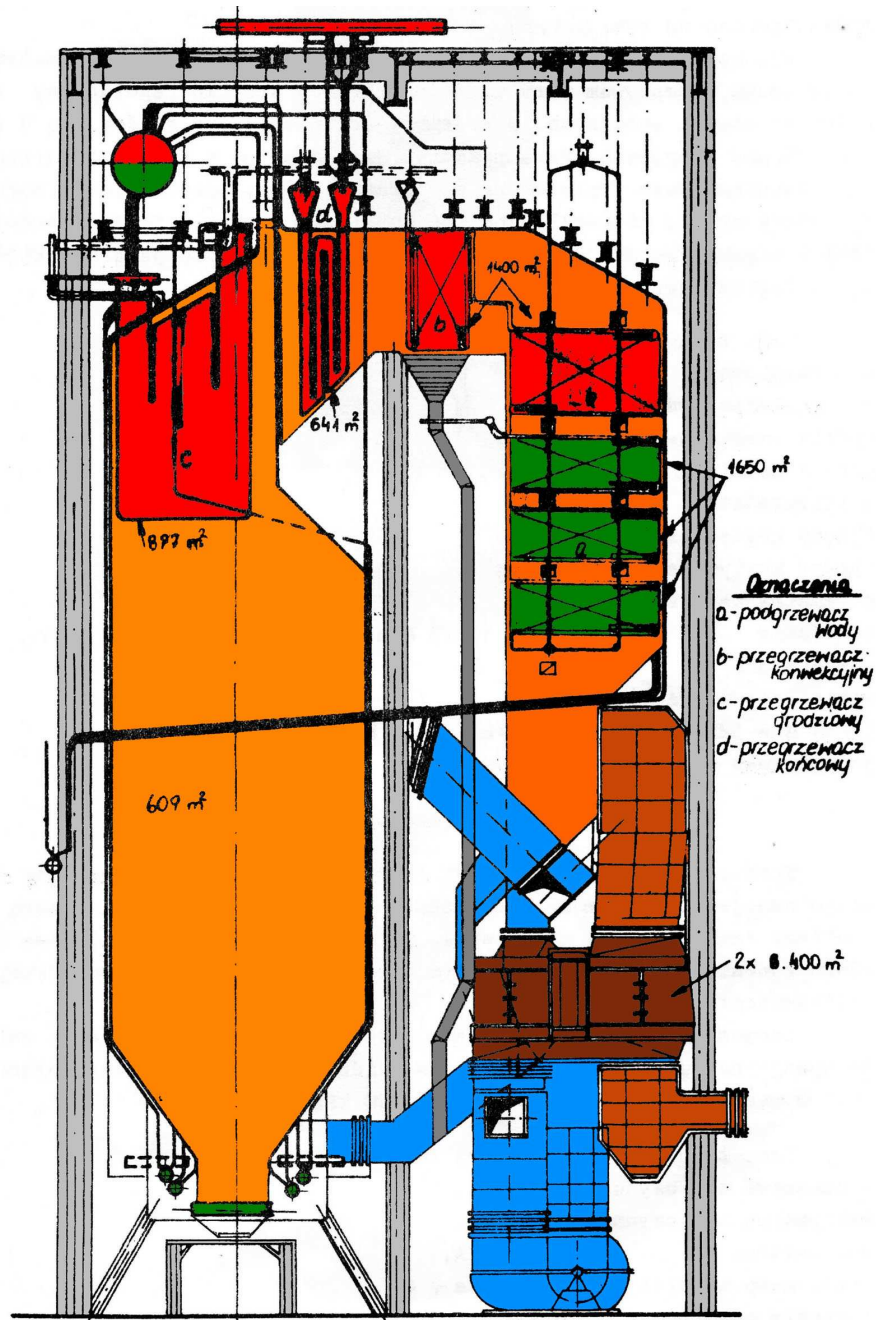
2. Kocioł OP-230

OP-230 jest kotłem parowym, pyłowym z naturalną cyrkulacją wody, jednowalczakowym, opromieniowanym, z trzystopniowym przegrzewaczem pary, podgrzewaczem wody oraz dwoma obrotowymi podgrzewaczami powietrza. Za I i II stopniem przegrzewacza są wbudowane wtryskowe schładzaczki pary (rys. 2). Kocioł jest opalany węglem kamiennym. Palniki pyłowe są usytuowane w narożach i zasilane przez 3 młyny typu EM-70.

Dane technologiczne kotła OP-230:

- | | |
|---|----------------------|
| • wydajność maksymalna trwała | 63,9 kg/s (230 Mg/h) |
| • wydajność nominalna | 50 kg/s (180 Mg/h) |
| • wydajność minimalna | 38,9 kg/s (140 Mg/h) |
| • ciśnienie wody zasilającej | 16,4 MPa |
| • ciśnienie wody wtryskowej | 16,4 MPa |
| • ciśnienie robocze w walczaku | 15,0 MPa |
| • ciśnienie pary na wylocie z przegrzewacza | 13,6 MPa |

- temperatura wody zasilającej 200°C (473 K)
- temperatura wody wtryskowej 140°C (413 K)
- temperatura pary przegrzanej 540°C (813 K)
- ilość wody wtryskowej 6,9 kg/s (25 Mg/h)
- temperatura gorącego powietrza 290°C (563 K)
- temperatura spalin na wylocie 140°C (413 K)
- zawartość CO₂ za kotłem 15%



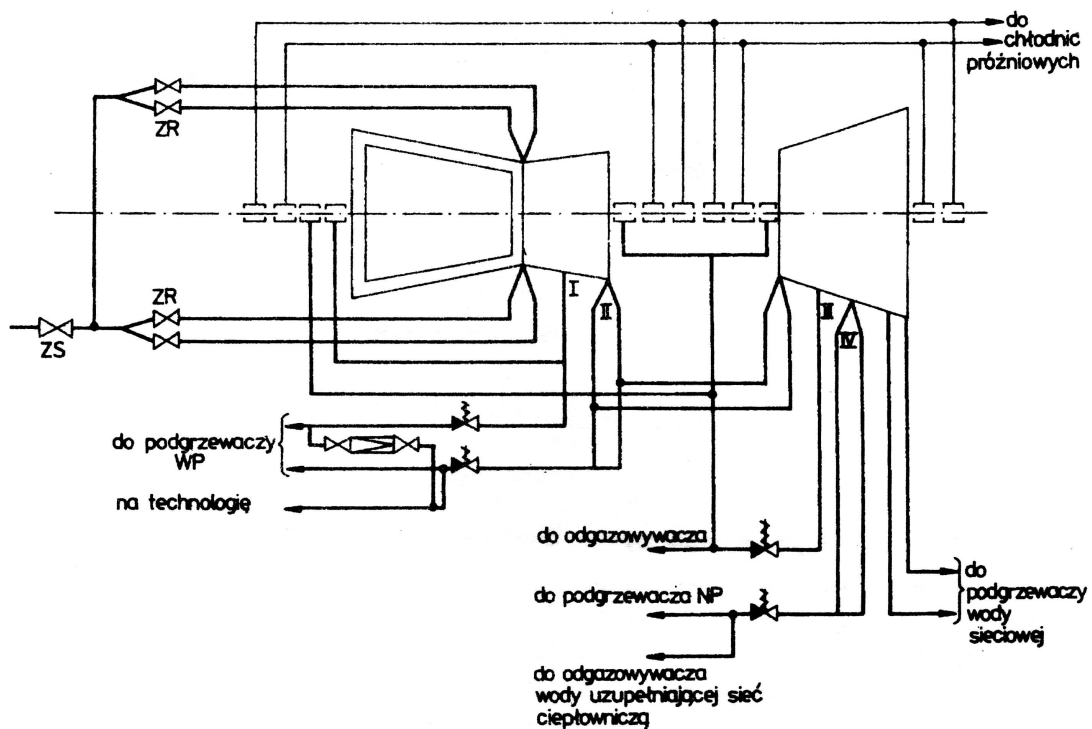
Rys. 2. Konstrukcja kotła OP-230 (liczby oznaczają wartości pola powierzchni ogrzewanych)

Charakterystyka paliwa gwarancyjnego:

- wartość opałowa 20,9 MJ/kg
- maksymalna zawartość popiołu 18%
- maksymalna zawartość wilgoci 12%
- maksymalna zawartość siarki 1%
- zużycie węgla gwarancyjnego przy wydajności maksymalnej trwalej 7,78 kg/s (28 Mg/h)
- sprawność kotła brutto (paliwo gwarancyjne, temperatura wody zasilającej 210°C) 88%.

3. Turbina 13P55-0

13P55-0 jest przeciwnieprężną turbiną ciepłowniczą, osiową, akcyjną, dwukadłubową z dwustopniowym wylotem ciepłowniczym do zasilania podgrzewaczy wody sieciowej. Turbina służy ponadto do wytwarzania pary technologicznej i energii elektrycznej (ogólny schemat turboszespołu przedstawiono na rys. 3).



Rys. 3. Ogólny schemat rurociągów przyturbiniowych:

ZS - zawór szybkozamykający, ZR - zawór regulacyjny

Wysokoprężny kadłub turbiny o częściowo dwupowłokowej konstrukcji, ze zwrotnym przepływem pary ma jednowięcowy stopień regulacyjny i osiemnaście osiowych stopni akcyjnych. W kadłubie średnioprężnym mieści się dziewięć osiowych stopni akcyjnych. Para

przeciwpiężna odpływa z części średniopiężnej dwustopniowym wylotem za stopniami 8 i 9. Oprócz wylotu turbina ma cztery upusty nieregulowane do zasilania pogrzewaczy regeneracyjnych i odgazowyczy. Drugi upust służy do zasilania parą kolektora technologicznego.

Dane techniczne turbiny 13P55-O:

- moc znamionowa 55500 kW
- moc obliczeniowa 52540 kW
- obroty znamionowe 3000 obr/min
- obroty zadziałania regulatora:
 - bezpieczeństwa 3330 obr/min
 - obroty krytyczne I 1750 obr/min
 - obroty krytyczne II 2200 obr/min
- parametry pary świeżej:
 - ciśnienie $12,75 \pm 1,275$ MPa
 - temperatura $535 \pm_{15}^8$ °C ($808 \pm_{15}^8$ K)
- obliczeniowe zużycie pary (przy N=52540 kW) 65,8 kg/s (237 Mg/h)
- jednostkowe obliczeniowe zużycie pary 1,25 kg/MW

4. Generator TGHW-63

Turbogenerator TGHW-63 jest trójfazową prądnicą obcowzbudną z prętowym uzwojeniem stojana. Chłodzenie stojana odbywa się za pomocą wody w obiegu zamkniętym, a chłodzenie wirnika jest wodorowe, również w obiegu zamkniętym. Obieg wodoru wymuszony jest wentylatorem osadzonym na wale generatora.

Korpus stojana jest wykonany jako gazoszczelny, a wyjścia wału mają specjalne uszczelnienia olejowe (ciśnienie oleju uszczelniającego jest wyższe od ciśnienia wodoru o 60-70 kPa).

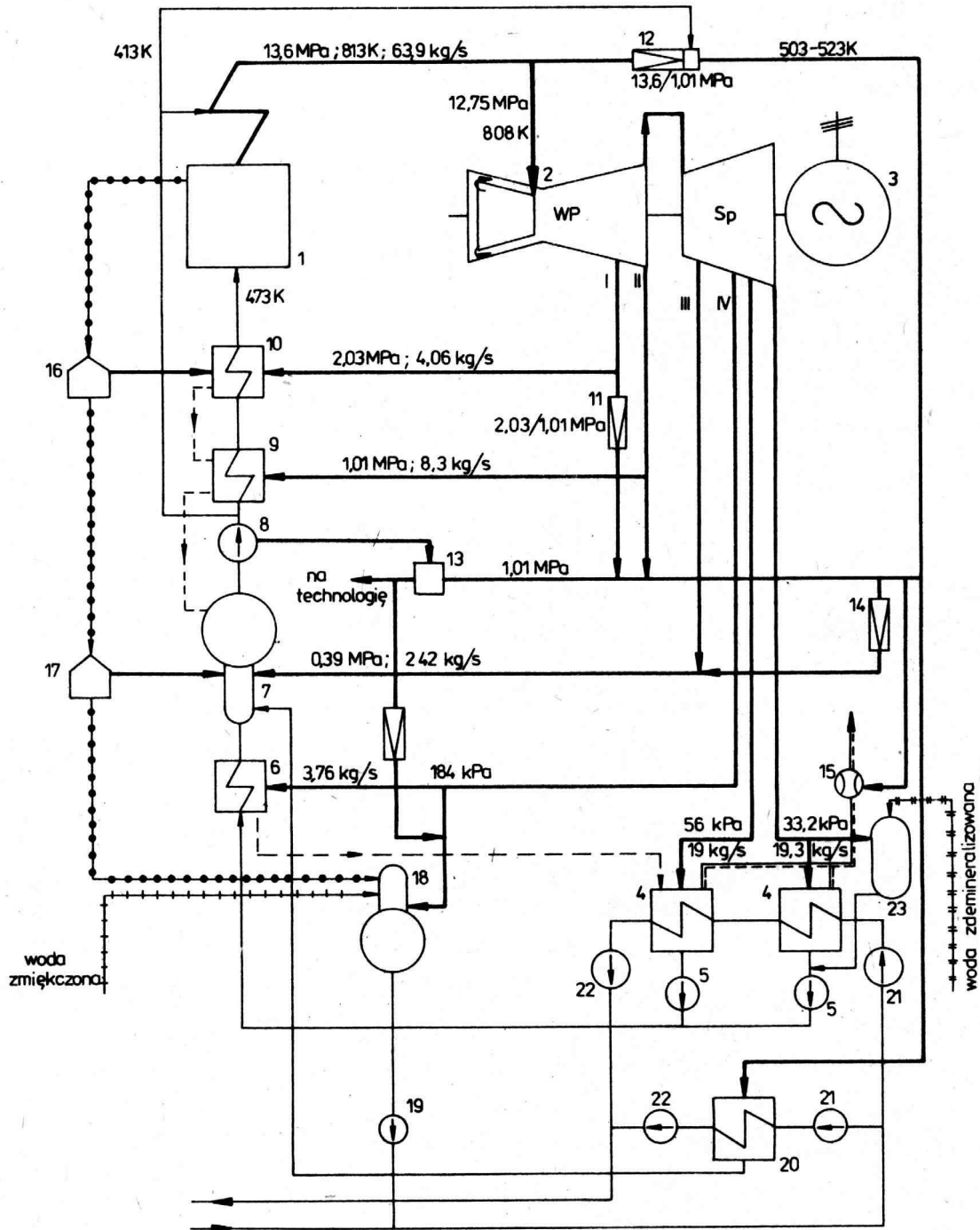
Dane techniczne generatora TGHW-63:

- znamionowa moc czynna 55000 kW
- maksymalna moc czynna 58000 kW
- moc pozorna 68250 kVA
- znamionowy współczynnik mocy $\cos\varphi$ 0,8

• napięcie znamionowe	10500 V
• prąd znamionowy	3750 A
• częstotliwość	50 Hz
• obroty znamionowe	3000 obr/min
• obroty krytyczne generatora	2020 obr/min
• sprawność	98,4%
• ciśnienie wodoru	50-200 kPa
• czystość wodoru	97%

5. Układ cieplny bloku BC-50

Podstawowy schemat układu cieplnego bloku BC-50 przedstawiono na rysunku 4. Kocioł OP-230 1 jednym tylko ruropociągami pary świeżej zasila turbinę 13P55-0-3 2. Ruropociąg pary świeżej jest wyposażony w jeden zawór szybkozamykający, za którym para dwoma ruropociągami jest podawana do czterech zaworów regulacyjnych zabudowanych po dwa w lewej i prawej komorze zaworowej. Z kadłuba wysokoprężnego (WP) para dwoma przelotniami \varnothing 400 odpływa do części średnioprężnej (SP). Para przeciwpłazna – odlotowa, dwustopniowym wylotem jest odprowadzana do dwóch podstawowych wymienników cieplowniczych 4. Z przepływowej części turbiny czterema upustami para jest odprowadzana do układu regeneracji: do dwóch podgrzewaczy wysokoprężnych 9 i 10 oraz podgrzewacza niskoprężnego 6 i odgazowywacza ze zbiornikiem wody zasilającej 7. Drugi upust turbiny (II) oprócz zasilania podgrzewacza WP 9 służy do poboru pary na cele technologiczne i potrzeby własne. Z upustu tego para, po przejściu przez schładzacz wtryskowy 13, odpływa do kolektora technologicznego, część pary zasila smoczek parowy 15 służyący do odprowadzania oparów i utrzymywania podciśnienia w podgrzewaczach wody sieciowej 4. Na wypadek trudności w zaspokojeniu potrzeb parowych upust drugi jest rezerwowany stacją redukcyjną 2,03/1,01 MPa 11 zasilaną z upustu pierwszego. Oba upusty WP (I, II) mogą ponadto wspomagać za pośrednictwem stacji redukcyjnych 11 i 14 upust trzeci zasilający odgazowywacz. Turbina i układ podstawowych podgrzewaczy wody sieciowej na wypadek awarii lub na okres rozruchu turbozespołu są rezerwowane stacją redukcyjno-schładzającą 13,60/1,01 MPa 12 oraz podgrzewaczem wody sieciowej, tzw. rozruchowo-rezerwowym 20. Stacja redukcyjno-schładzająca rozruchowo-rezerwowa 12 oprócz zasilania podgrzewacza 20 umożliwia podawanie pary do odgazowywacza przez stację redukcyjną 14, zasilanie odbiorów technologicznych przez schładzacz 13 oraz wytworzenie podciśnienia (smoczkiem 15) w podgrzewaczach podstawowych 4 przed uruchomieniem turbiny.



Rys. 4. Schemat układu ciepłego bloku BC-50:

1 - kocioł, 2 - turbina, 3 - generator, 4 - podgrzewacze wody sieciowej, 5 - pompy skroplin, 6 - podgrzewacz NP, 7 - odgazowywacz ze zbiornikiem wody zasilającej, 8 - pompa zasilająca, 9,10 - podgrzewacze WP, 11 - stacja redukcyjna, 12 - stacja redukcyjno-schładzająca rozruchowo-rezerwowa, 13 - schładzacz wtryskowy, 14 - stacja redukcyjna, 15 - smoczek parowy, 16,17 - rozprężacze odsolin, 18 - odgazowywacze ze zbiornikiem wody uzupełniającej ubytki w sieci ciepłowniczej, 19 - pompa wody uzupełniającej, 20 - podgrzewacz rozruchowo-rezerwowy, 21 - wstępne pompy wody sieciowej, 22 - pompy główne, 23 - odgazowywacz próżniowy wody uzupełniającej główny obieg energetyczny

Dla odzysku ciepła i zmniejszenia strat cennej wody kotłowej z układem regeneracyjnego podgrzewania skroplin i wody zasilającej połączono dwustopniowy system rozprężenia odsolin 16, 17. Para wtórna z pierwszego stopnia rozprężania zasila podgrzewacz WP 10, a z drugiego stopnia jest odprowadzana do odgazowywacza 7, zatężone odsoliny odpływają do odgazowywacza 18 wody uzupełniającej ubytki w sieci ciepłowniczej. Skropliny pary grzejnej z podgrzewaczy WP 10, 9 spływają kaskadowo do odgazowywacza 7 głównego obiegu energetycznego. Skropliny z podgrzewacza NP 6 są odprowadzane do wymiennika ciepłowniczego 4. Skropliny z wymienników ciepłowniczych 4 są przekazywane pompami 5 do odgazowywacza 7. Woda zasilająca kocioł jest tłoczona ze zbiornika pod odgazowywaczem przez pompę zasilającą 8. Blok wyposażony jest w dwie jednakowe pompy zasilające, z których jedna pracuje, a druga stanowi stuprocentową rezerwę.

Szczegółowe dane urządzeń cieplnych i mechanicznych bloku są podane w opisie urządzeń pomocniczych.

6. Układ podgrzewaczy ciepłowniczych

Podstawowy układ podgrzewania wody sieciowej jest wyposażony w dwa jednakowe wymienniki ciepłownicze. Wymienniki połączone szeregowo po stronie wodnej tworzą dwustopniowy system charakteryzujący się następującymi parametrami:

- Ilość wody przepływającej przez podgrzewacze 750 kg/s (2700 Mg/h)
- Temperatura wody w warunkach znamionowych
 - przed pierwszym podgrzewaczem 51°C (324 K)
 - za pierwszym podgrzewaczem 64°C (337 K)
 - za drugim podgrzewaczem 77°C (350 K)

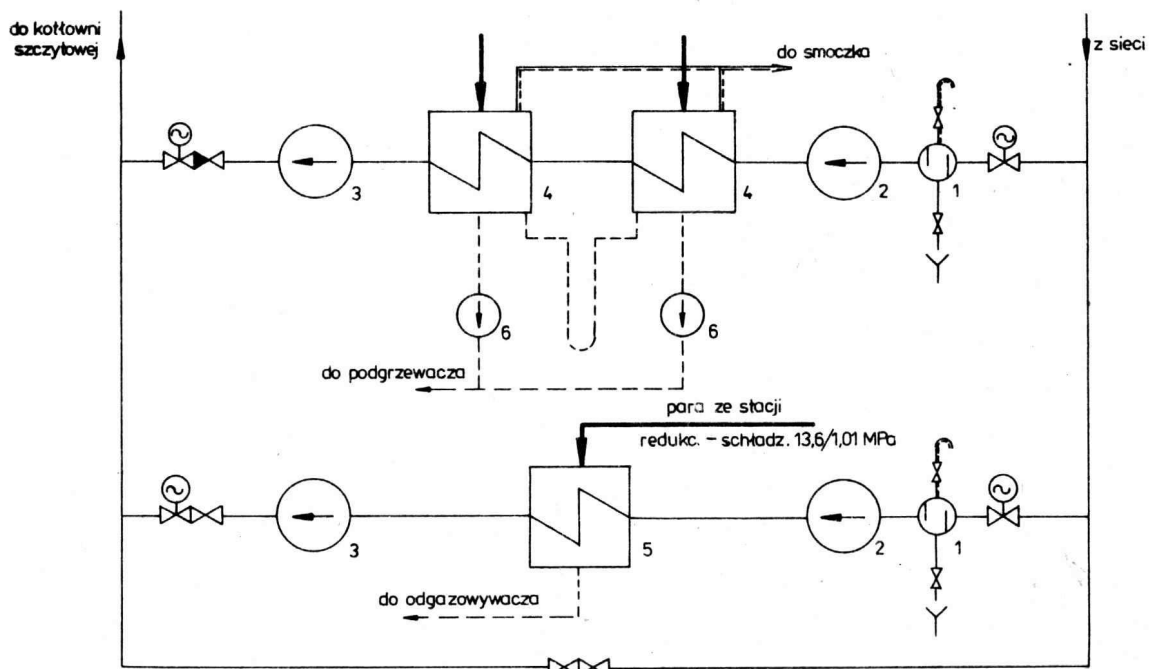
Oba podgrzewacze to powierzchniowe wymienniki ciepła o budowie poziomej, jednostrefowe i dwubiegowe typu PC-900-18.

Dane techniczne podgrzewacza PC-900-18:

- nominalne natężenie przepływu wody 750 kg/s (2700 Mg/h)
- moc cieplna 36-43 MW
- czynnik ogrzewający para
- czynnik ogrzewany woda
- pojemność w płaszczu 16,6 m³
- pojemność w rurach 4,3 m³

Rezerwowy układ podgrzewania wody sieciowej jest wyposażony w podgrzewacz rozruchowo-rezerwowy o następujących danych technicznych:

- moc cieplna 85 MW (73 Gcal/h)
- zapotrzebowanie na parę ze stacji redukcyjno-schładzającej 34,72 kg/s (125 Mg/h)
- ilość przepływającej wody 750 kg/s (2700 Mg/h)
- ciśnienie w przestrzeni parowej 0,98-1,18 MPa
- temperatura pary 200°C (473 K)
- parametry przestrzeni wodnej:
 - ciśnienie 0,34-0,93 MPa,
 - temperatura 73,5-103,7°C (346,5-376,7 K)



Rys. 5. Schemat układu podgrzewaczy wody sieciowej:

1 - odmulacze, 2 - wstępne pompy wody sieciowej, 3 - pompy główne, 4 - podgrzewacze podstawowe, 5 - podgrzewacz rozruchowo-rezerwowy, 6 - pompy skroplin

Oba układy podgrzewania wody sieciowej (rys. 5) mają zainstalowane własne pompy wstępne i pompy główne. Dwustopniowy układ pompowania został przyjęty dla zapewnienia niższego ciśnienia roboczego rur powierzchni ogrzewalnej podgrzewacza (pompy wstępne dają niewielki przyrost ciśnienia na pokonanie oporów przepływu w podgrzewaczach i zabezpieczenie pomp głównych przed kawitacją). Obniżenie ciśnienia roboczego po stronie wodnej pozwala na

zmniejszenie kosztów podgrzewaczy i zwiększenie ich niezawodności (niższe ciśnienie, cieńsze ścianki rur, mniejsza powierzchnia ogrzewalna).

W obu układach podgrzewania wody zastosowano jednakowe pompy wstępne typu JOB-52-3 i jednakowe pompy główne typu 40B61-B.

Dane techniczne pomp:

A) pompa wody sieciowej – wstępna,

- typ: odśrodkowa z dwustronnym zasysaniem JOB 52-3
- wydajność 0,778 m³/s
- całkowity przyrost ciśnienia 294 kPa
- obroty 992 obr/min
- moc napędowa 320 kW

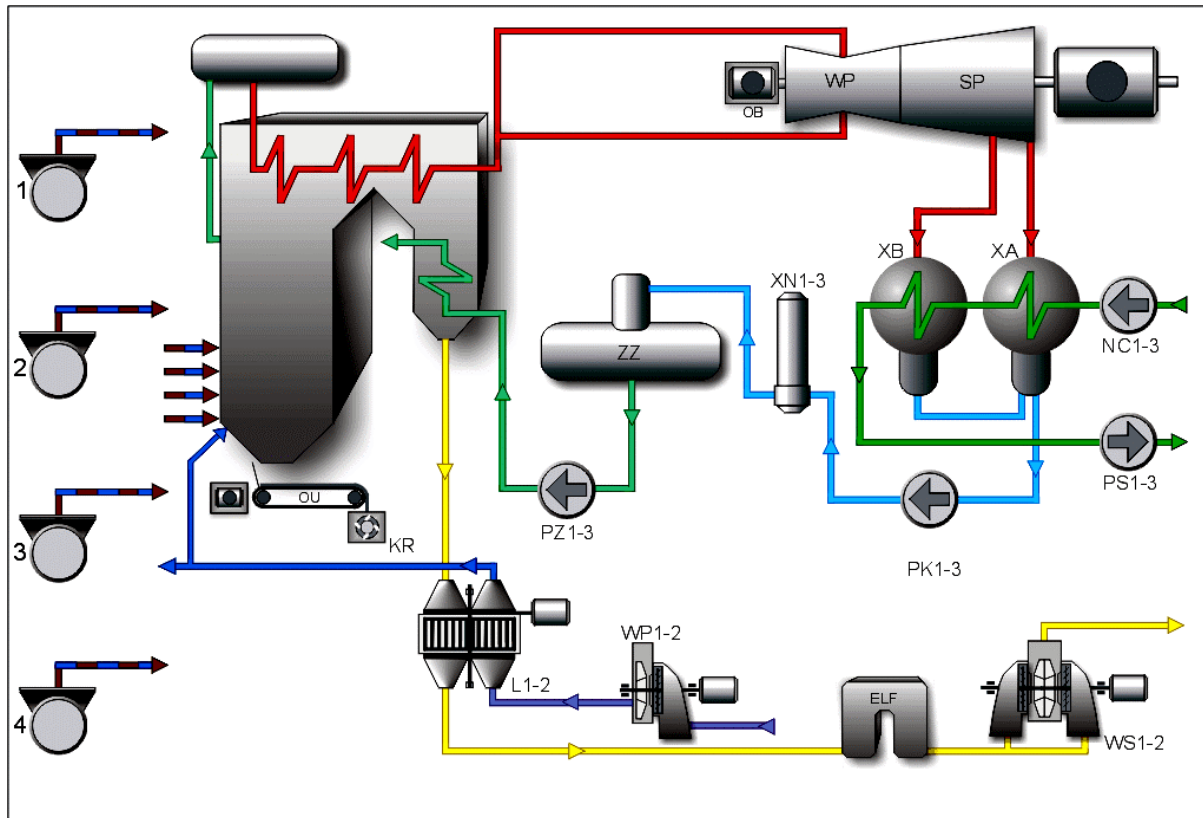
B) pompa wody sieciowej – główna:

- typ: odśrodkowa z dwustronnym zasysaniem - 40B61-B
- wydajność 0,778 m³/s
- całkowity przyrost ciśnienia 1,08 MPa
- obroty 1480 obr/min
- moc napędowa 1250 kW.

Z układem podgrzewania wody sieciowej są połączone dwa odgazowywacze (Ø 1800 i Ø 1200) wody uzupełniającej ubytki w sieci. Odgazowywacze te (nr 18 na rys. 4) o wydajnościach 40,25 i 11,1 kg/s wody dodatkowej są zasilane normalnie z czwartego upustu turbiny, rezerwowo z kolektora technologicznego przez stację redukcyjną.





7. Blok ciepłowniczy BC-100

Poniżej zamieszczono poglądowy schemat technologiczny układu bloku ciepłowniczego BC-100 w elektrociepłowni (rysunek 6). Są tam zainstalowane dwa bloki ciepłownicze BC-100, każdy po 104 MWe mocy elektrycznej i 208 MWt mocy cieplnej.







Rys. 6. Poglądowy schemat technologiczny bloku BC-100, [1]

a) układ wodno-parowy

	- rurociąg parowy
	- rurociąg kondensatu
	- rurociąg wody zasilającej do kotła
	- rurociąg wody sieciowej

OB	- obracarka turbiny
WP, SP	- część wysoko- i średnioprężna turbiny
XA, XB	- podgrzewacze wody sieciowej
PK1-3	- pompy kondensatu
XN1-3	- wymienniki regeneracyjne
ZZ	- zbiornik wody zasilającej
PZ1-3	- pompy wody zasilającej do kotła
NC1-3	- wstępne pompy wody sieciowej
PS1-3	- główne pompy wody sieciowej

b) układ paliwo-powietrze-spaliny

	- mieszanka pyłowo-powietrzna
	- powietrze gorące do kotła
	- zimne powietrze do kotła
	- spaliny z kotła

1, 2, 3, 4	- młyny węglowe
L1,2	- obrotowe podgrzewacze powietrza
WP1,2	- wentylatory podmuchu
ELF	- elektrofiltr
WS1,2	- wentylatory spalin
KR	- kruszarka

7.1. Kocioł OP-430

Dwa kotły parowe, oznaczone symbolami K-2 i K-3 wchodzi w skład bloków ciepłowniczych. Kotły typu OP-430 są kotłami jednowalczakowymi, dwuciagowymi z cyrkulacją naturalną, paliwem spalany w kotłach jest węgiel kamienny z dodatkiem biomasy (obecnie do około 10% udziału masowego). Kotły OP-430 posiadają instalację redukcji NO_x bazującą na niskoemisyjnych palnikach produkcji Rafko. Głównymi elementami kotłów są: walczak, komora spalania z ekranami szczelnymi, trójstopniowy przegrzewacz pary.

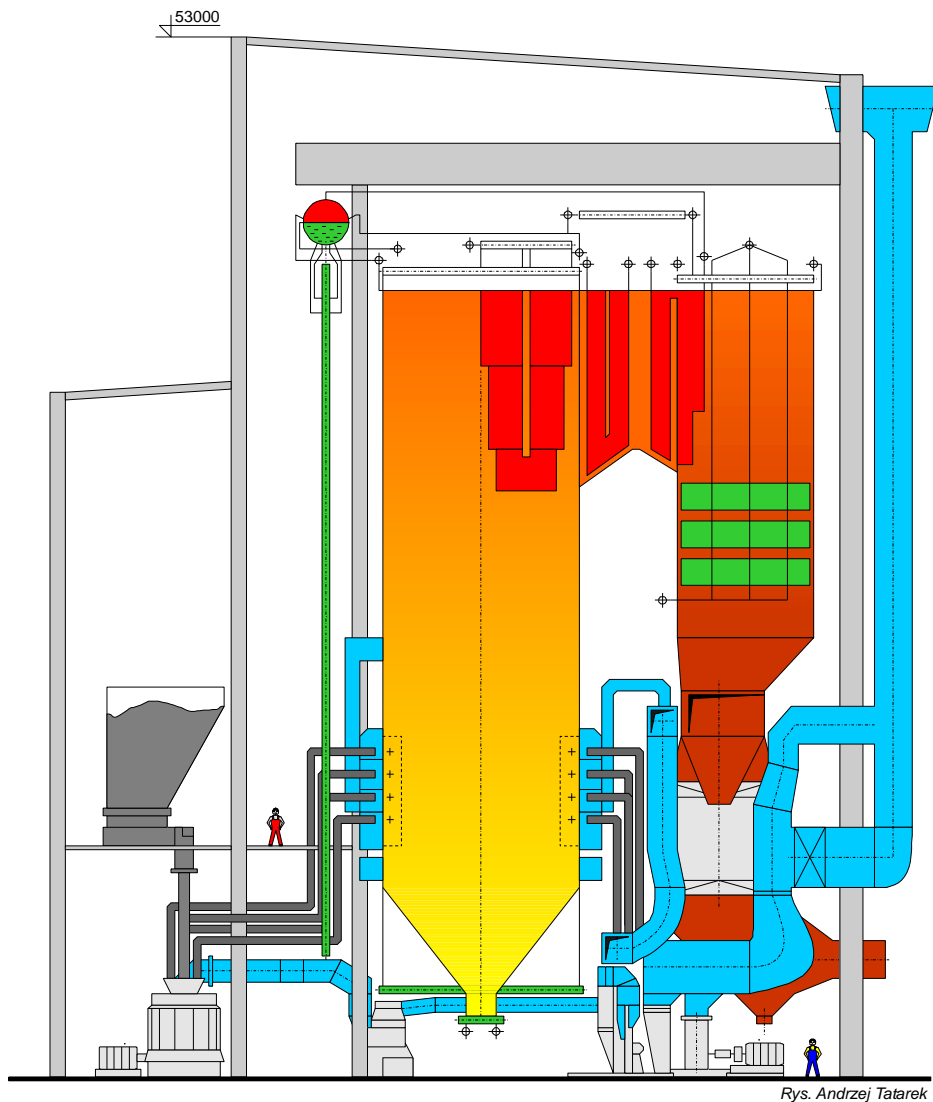
Podstawowe dane kotłów OP-430:

- rok uruchomienia: 1984 (K-2), 1987 (K-3)
- liczba przepracowanych godzin: 115 000 (K-2), 109 000 (K-3)
- WMT (wydajność maksymalna trwała): 430 t/h (120 kg/s)
- ciśnienie pary przegrzanej: 13,53 MPa
- temperatura pary przegrzanej: 540°C
- temperatura spalin wylotowych: 135°C

Kocioł parowy OP-430 przedstawiony na rys. 7 jest zbudowany w układzie dwuciagowym, komora paleniskowa jest całkowicie ekranowana, wykonana ze ścian szczelnych. Przegrzewacz pary został zaprojektowany i zbudowany jako trzyczęściowy. Pierwszy stopień przegrzewacza (konwekcyjny – PK) jest umieszczony w górnej części drugiego ciągu.

Drugi stopień (PG), półopromieniowany, zbudowany w formie grodzi jest umieszczony nad komorą paleniskową, przed festonem – pęczkiem konwekcyjnym utworzonym z rur ekranu tylnego komory paleniskowej. Trzeci stopień przegrzewacza (wylotowy – PW) znajduje się w kanale międzyciągu. Pomędzy przegrzewaczami PK i PG oraz PG i PW znajdują się wtryskowe regulatory temperatur pary przegrzanej. Podgrzewacz wody (ECO) jest zawieszony na rurach wieszakowych w drugim ciągu kotła.

Do rozpalania kotła służą palniki mazutowe. Paliwem podstawowym jest węgiel kamienny spalany w postaci pyłu węglowego. Kocioł jest wyposażony w instalację z bezpośrednim zasilaniem z czterema młynami średniobieżnymi kulowo-misowymi MKM-25. Palniki pyłowe są zabudowane w narożach komory paleniskowej.



Rys. 7. Kocioł parowy OP-430

7.2. Turbina 13UC100

13UC100 jest przeciwprężną turbiną ciepłowniczą, osiową, jednokadłubową z dwustopniowym wylotem ciepłowniczym do zasilania podgrzewaczy wody sieciowej. Turbina służy ponadto do wytwarzania pary technologicznej oraz, w połączeniu z generatorem TGH-125, energii elektrycznej.

Turbina ma cztery upusty pary do zasilania odgazowyczaczy i trzech niskoprężnych pogrzewaczy regeneracyjnych XN1, XN2 i XN3. Para przeciwprężna odpływa z części średnioprężnej dwustopniowym wylotem i zasila dwa podgrzewacze wody sieciowej XA i XB.

