

Instrukcja ćwiczenia nr 14

Temat: Regulacja ciśnienia okrętowego kotła utylizacyjnego.

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasad budowy układu automatyki regulacji ciśnienia kotła utylizacyjnego na statkach, metodami regulacji ciśnienia kotła utylizacyjnego oraz poznanie budowy czujników ciśnienia z zastosowaniem do układów regulacji automatycznej.

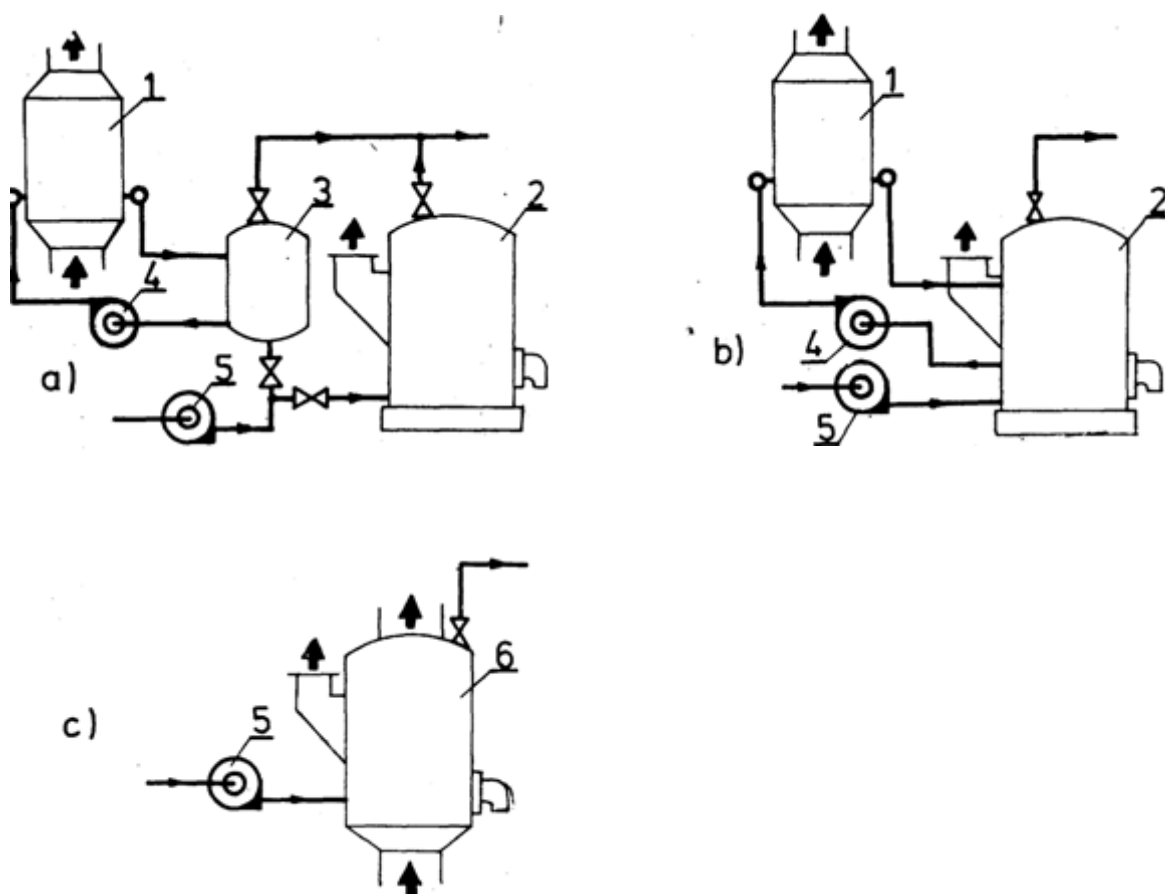
2. Wprowadzenie

Na statkach napędzanych silnikami spalinowymi obecność instalacji parowych wynika głównie z korzystnych właściwości pary wodnej jako czynnika grzewczego. Stosowanie jako czynnika grzewczego pary nasyconej wynika ze znacznie korzystniejszych warunków wymiany ciepła (wyższych współczynników przejmowania ciepła) aniżeli w przypadku stosowania pary przegrzanej. Para na tych statkach jest stosowana do ogrzewania czynników znajdujących się w instalacjach okrętowych, a przede wszystkim do grzania paliwa ciężkiego. Para wytwarzana jest w kotłach ogrzewanych spalinami odlotowymi z silnika głównego. Kotły takie zwane kotłami utylizacyjnymi są instalowane na przewodzie wydechowym spalin silnika głównego i w konwencjonalnych rozwiązaniach służy do wytwarzania pary nasyconej do celów grzewczych i technologicznych. Kotły te wykonywane są jako kotły z przymusowym obiegiem, a najczęściej spotykanym typem jest kocioł typu La Monta. Całość powierzchni ogrzewalnej kotła, którą tworzą węzownice ustawione jedna nad drugą, jest podzielona na kilka sekcji, które mogą być włączane i wyłączane i tym samym umożliwiają regulację wydajności kotła stosownie do istniejącego na statku zapotrzebowania pary.

Ponieważ kocioł La Monta nie ma ani przestrzeni parowej, ani wodnej, musi on być połączony ze znajdującym się poza kotłem izolowanym zbiornikiem (walcakiem) lub też z kotłem opalany paliwem płynnym, którego przestrzeń parowa i wodna są wspólne dla obu kotłów. To drugie rozwiązanie możliwe jest wówczas, gdy przestrzeń parowa kotła pomocniczego jest wystarczająca dla pracy równoległej obu kotłów z ich pełną wydajnością.

Typowe, spotykane w siłowniach spalinowych układy kotłów pomocniczych przedstawia rysunek 1. W czasie podróży morskiej, przy pełnej mocy głównego silnika napędowego wydajność kotła utylizacyjnego zainstalowanego na pełnomorskich statkach towarowych zwykłego typu jest całkowicie wystarczająca do pokrycia zapotrzebowania na parę grzewczą. Przy zwiększonym zapotrzebowaniu pary, występującym np. w okresie zimowym, obydwa kotły utylizacyjny i opalany niezależnie, mogą pracować równolegle. W czasie postoju statku w porcie lub też przy częściowych obciążeniach silnika głównego pracuje tylko kocioł pomocniczy opalany paliwem. Ze względu na

stosunkowo niskie temperatury spalin wylotowych z silnika (około 250-350°C) oraz dobrą kompensację wydłużeń cieplnych przez poszczególne węzownice, kocioł typu La Monta nie wymaga stosowania rurociągu omijającego dla spalin w stanach pracy, gdy jest on nieczynny. Konieczność wyłączenia kotła z pracy przy częściowych obciążeniach silnika wynika z możliwości zbytowego ochłodzenia spalin wylotowych z silnika i tym samym przekroczenie punktu rosy spalin, co mogłoby spowodować korozję niskotemperaturową kotła i przewodów wydechowych znajdujących się za kotłem.



Rys. 1. Układy kotłów pomocniczych, a-układ pełny, b-układ uproszczony, c-układ zredukowany.
1-kocioł utylizacyjny, 2-kocioł opalany paliwem płynnym, 3-zbiornik pary i wody, 4-pompa obiegowa,
5-pompa zasilająca, 6-kocioł o opalaniu kombinowanym.

Cyrkulację wody w kotle La Monta wywołuje pompa obiegowa o wydajności 8÷10 razy większej od wydajności kotła. Oznacza to, że w kotle utylizacyjnym tego typu jest odparowywana tylko pewna część wody tłoczonej pompą obiegową, a do zbiornika pary i wody dopływa mieszanina parowo-wodna, która ulega tam separacji. Z tego też powodu zbiornik ten nazywany jest separatorem.

Do celów grzewczych stosowana jest para nasycona o ciśnieniach 0,4÷1,2 MPa. Odpowiadające tym ciśnieniom temperatury nasycenia wynoszą odpowiedni 144÷188 °C. Para nasycona, najczęściej o ciśnieniu około 0,7 MPa może być wytwarzana w kotle utylizacyjnym 1, w

kotle opalanym paliwem płynnym lub w obu kotłach łącznie. Większe ciśnienia pary grzewczej stosuje się w instalacjach kotłów pomocniczych produkujących parę do ogrzewania ładunku na zbiornikowcach. Stosowanie wyższych ciśnień w tym ostatnim przypadku jest podyktowane większymi spadkami ciśnienia w instalacji ze względu na większe długości rurociągów, możliwością zmniejszenia średnic rurociągów doprowadzających parę, zmniejszeniem powierzchni wymiany ciepła (z uwagi na wyższe temperatury czynnik grzewczego) oraz dążeniem do zapewnienia przepływu czynnika grzewczego i skroplin bez dodatkowych urządzeń.

Przy podgrzewaniu produktów naftowych (paliwa, oleje smarowe) skropliny z pary grzewczej przed ich doprowadzeniem do zbiornika skroplin zwanego również skrzynią cieplną są kierowane do zbiornika obserwacyjnego. Zadaniem tego zbiornika jest ciągła kontrola czystości skroplin, które mogą w wyniku nieszczelności ulec zanieczyszczeniu produktami olejowymi i niedopuszczenie do przedostania się tych zanieczyszczeń do zbiornika skroplin i dalej do kotłów.

AUTOMATYKA

Praca silnika głównego jest nadrzędna i nie może być zakłócana przez pracę urządzeń pomocniczych. Kocioł utylizacyjny odzyskuje ciepło odpadowe spalin w stopniu pokrywającym zapotrzebowanie siłowni na ciepło. Do tego celu wymagany jest układ regulacji, który niezależnie od bieżącego strumienia spalin – bieżącego obciążenia silnika, zapewni ciągły strumień pary grzewczej o stałych parametrach.

Na statkach spotykamy kilka różnych rozwiązań technicznych tego zagadnienia. Występują dwie sytuacje eksploatacyjne: strumień spalin jest niewystarczający przy częściowych obciążeniach silnika lub strumień spalin jest za duży przy pełnym obciążeniu silnika.

W pierwszej sytuacji układ regulacji nie może zwiększyć strumienia ciepła i brak pary grzewczej musi zostać uzupełniony przez źródło dodatkowe, to jest kocioł pomocniczy opalany paliwem. Dodatkowo załoga statku może odłączyć chwilowo odbiorniki ciepła mniej ważne lub o wysokiej inercji, które nie spowodują wyraźnego spadku temperatury, przykładowo zbiorniki paliwa zapasowego lub zbiorniki osadowe.

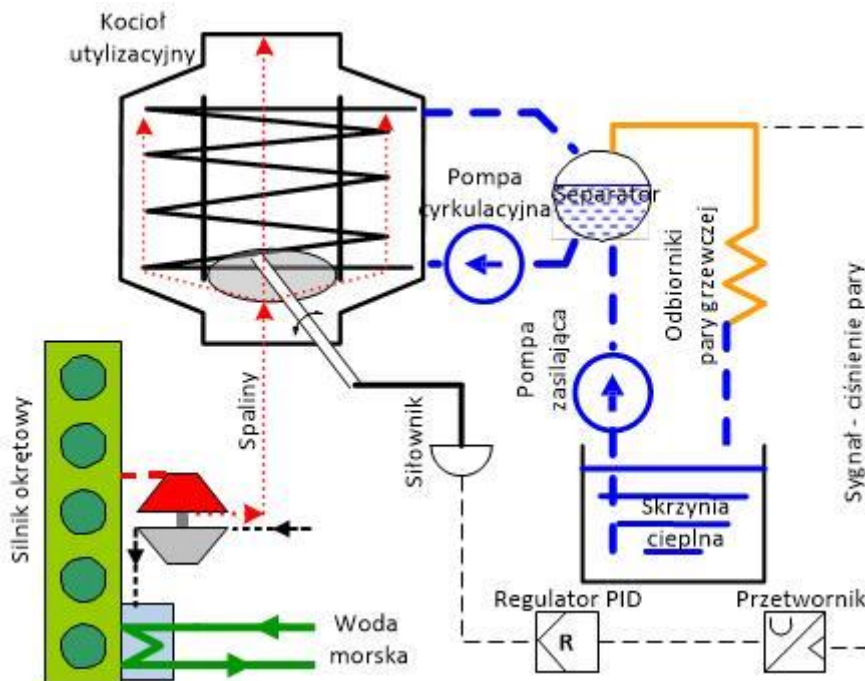
W drugiej sytuacji układ automatyki jest niezbędny, jego zadaniem jest ograniczyć strumień ciepła utylizowanego bez zmiany obciążenia silnika głównego utrzymując stałe ciśnienie pary w kotle utylizacyjnym. Stan równowagi pomiędzy pełną utylizacją strumienia spalin a zapotrzebowaniem pary nasyconej na cele grzewcze występuje w najnowszych układach z tzw. głęboką utylizacją ciepła.

Na statkach występuje kilka metod na rozwiązanie regulacji z utylizacją ciepła:

1. regulacja strumienia spalin,
2. regulacja powierzchni cieplnej kotła utylizacyjnego,
3. regulacja odbioru pary grzewczej przez dodatkowy odbiornik skraplacz nadmiarowy.

Ad 1.

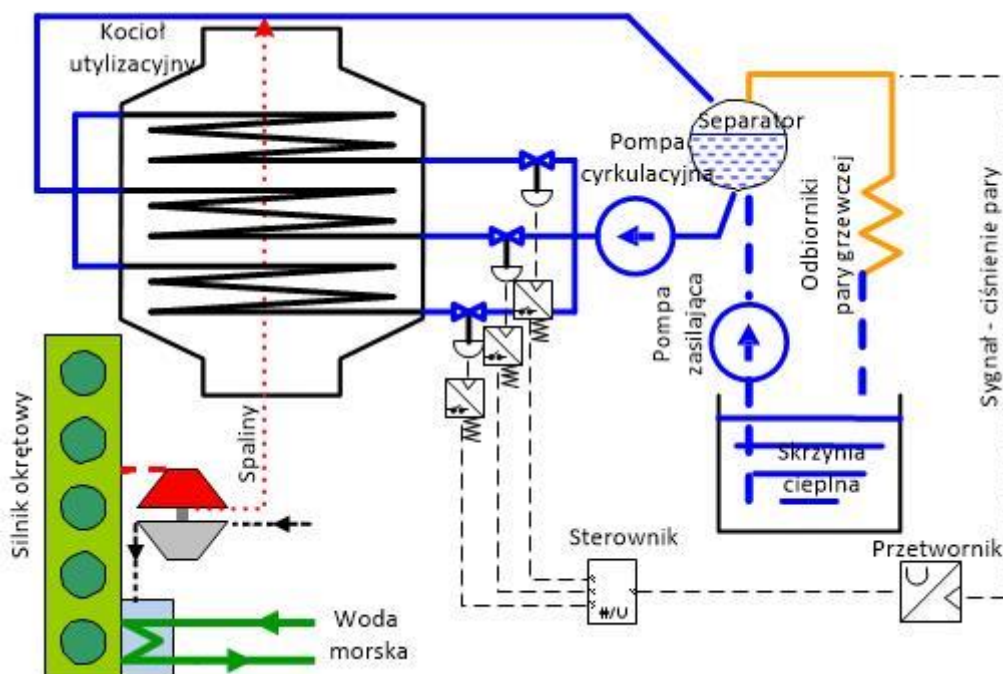
W tej metodzie komin ma dwa przewody wyciągowe: wewnętrzny i zewnętrzny oraz przepustnicę spalin jako element sterowania, rys. 2. Spaliny wybierają drogę mniejszych oporów przepływu, stąd otwarcie przepustnicy powoduje przepływ spalin przez przewód wewnętrzny i zmniejszenie ogrzewania węzownic kotła utylizacyjnego. Strumień spalin dzieli się na dwie części: zewnętrzny, utylizowany i wewnętrzny, nieutylizowany. Zamknięcie przepustnicy spalin jest pełną utylizacją ciepła. Podział strumienia spalin nie zakłóca pracy silnika głównego. Na czas startu silnika i manewrów przepustnica spalin powinna być w pozycji otwartej za pomocą sterowania ręcznego układu automatyki.



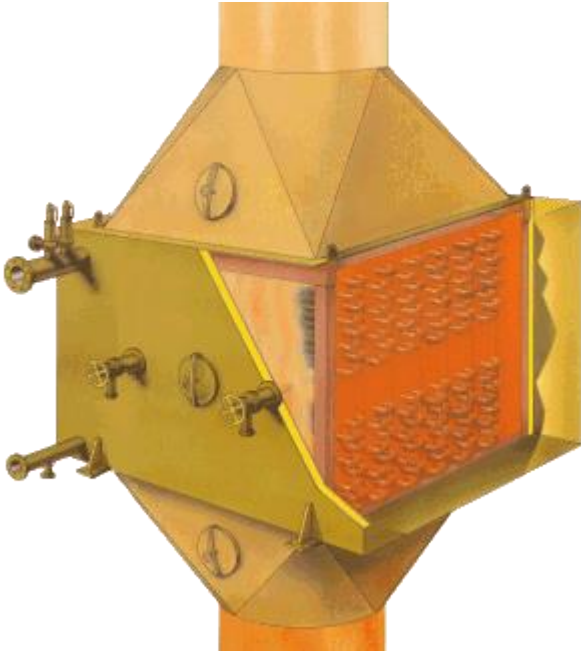
Rys. 2. Regulacja ciśnienia kotła utylizacyjnego poprzez podział strumienia spalin.

Ad 2.

W tej metodzie konstrukcja węzownic zajmuje cały przewód kominowy, rys. 3. W każdym przypadku kocioł utylizacyjny podzielony jest na kilka sekcji. Sekcje ustawione są jedna nad drugą i kolejno mogą być załączane do pracy aż do osiągnięcia wymaganej wydajności kotła. Niskie temperatury spalin wylotowych z silnika dają bezpieczną pracę węzownic w stanach wyłączenia – praca węzownic na sucho. Powierzchnia grzewcza kotła jest stała, ale czynna powierzchnia kotła zmienia się w czasie pracy. Węzownice są odcinane automatycznie przez zawory odcinające na wejściu. Węzownica pracuje normalnie z dużym nadmiarem wody lub na sucho. Nie dopuszcza się do pracy węzownic przy zmniejszonym przepływie wody, co mogłoby doprowadzić do pełnego odparowania wody, osadzania się zanieczyszczeń na ściankach i zarastania przewodów.

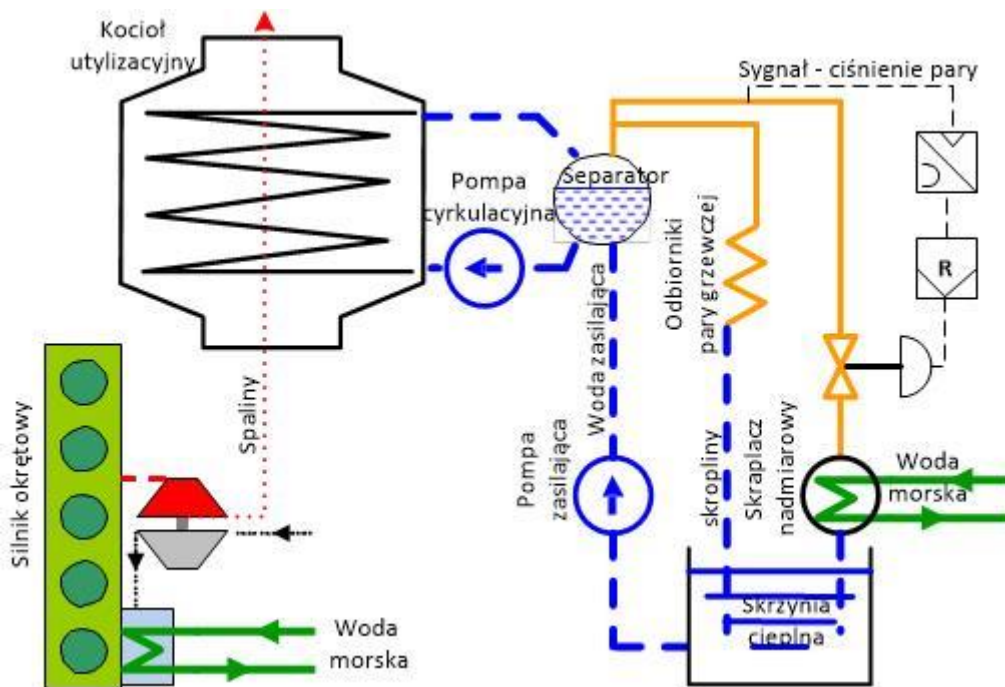


Rys. 3. Regulacja ciśnienia kotła utylizacyjnego poprzez zmianę powierzchni czynnej kotła.
Ad 3.



W tej metodzie konstrukcja węzownic również zajmuje cały przewód kominowy. Są to układy przygotowane do głębokiej utylizacji. Kocioł utylizacyjny odbiera całe ciepło spalin. Konstrukcja kotła jest sztywna i nie zawiera żadnych elementów regulacji, rys 4 i 5. Ciepło spalin odbierane jest w całości i musi zostać odebrane przez odbiory podstawowe i dodatkowe. Odbiorem dodatkowym i jednocześnie regulacyjnym jest skraplacz nadmiarowy, który przekazuje nadmiar ciepła z utylizacji do wody morskiej.

Rys.4. Konstrukcja kotła utylizacyjnego – układ węzownic.



Rys. 5. Regulacja ciśnienia kotła utylizacyjnego poprzez zastosowanie skraplacza nadmiarowego.

Regulacja ze skraplaczem nadmiarowym jest rozwiązaniem często stosowanym. Każde rozwiązanie wymaga od operatora właściwej obsługi, a błędy w obsłudze instalacji mogą doprowadzić do braku pary i zatrzymania silnika głównego. Przykładowo zanieczyszczenie skraplacza nadmiarowego spowoduje brak regulacji ciśnienia w kotle i konieczność powiązania obciążenia silnika głównego z zużyciem pary grzewczej lub zatrzymanie silnika głównego na czas

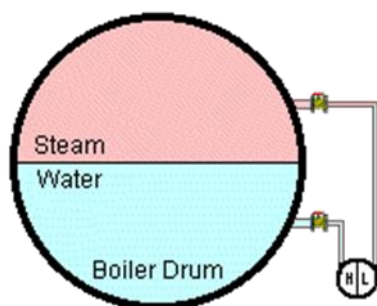
czyszczenia skraplacza nadmiarowego. Skraplacz nadmiarowy może być chłodzony wodą morską bezpośrednio lub wodą słodką obiegu niskotemperaturowego. Prowadzi to do rozrostu instalacji wody morskiej lub do zwiększenia wielkości chłodziń centralnych. Usuwanie nadmiaru ciepła spalin bezpośrednio do atmosfery (punkty 1 i 2) upraszcza eksploatację siłowni statku i regulację ciśnienia pary grzewczej.

W każdym rozwiązaniu układu automatyki regulacji ciśnienia występuje czujnik ciśnienia w dowolnym miejscu instalacji parowej, regulator PID i siłownik z członem wykonawczym odpowiednim do zastosowanego rozwiązania (przepustnica spalin, zawory odcinające lub zawór parowy).

Każdy układ automatyki regulacji ciśnienia ma tryb pracy ręcznej. Oznacza to możliwość odłączenia regulatora z pracy i ręczne zadawanie pozycji elementu wykonawczego. Należy z tego korzystać w różnych sytuacjach eksploatacyjnych i awaryjnych.

W każdym rozwiązaniu układu automatyki regulacji ciśnienia stosuje się presostat, który wyłącza pompę cyrkulacyjną w przypadku niekontrolowanego wzrostu ciśnienia w kotle, np. zapalenie się sadzy na węzownicach. Kolejnym i ostatnim zabezpieczeniem układu jest zawór bezpieczeństwa na kotle.

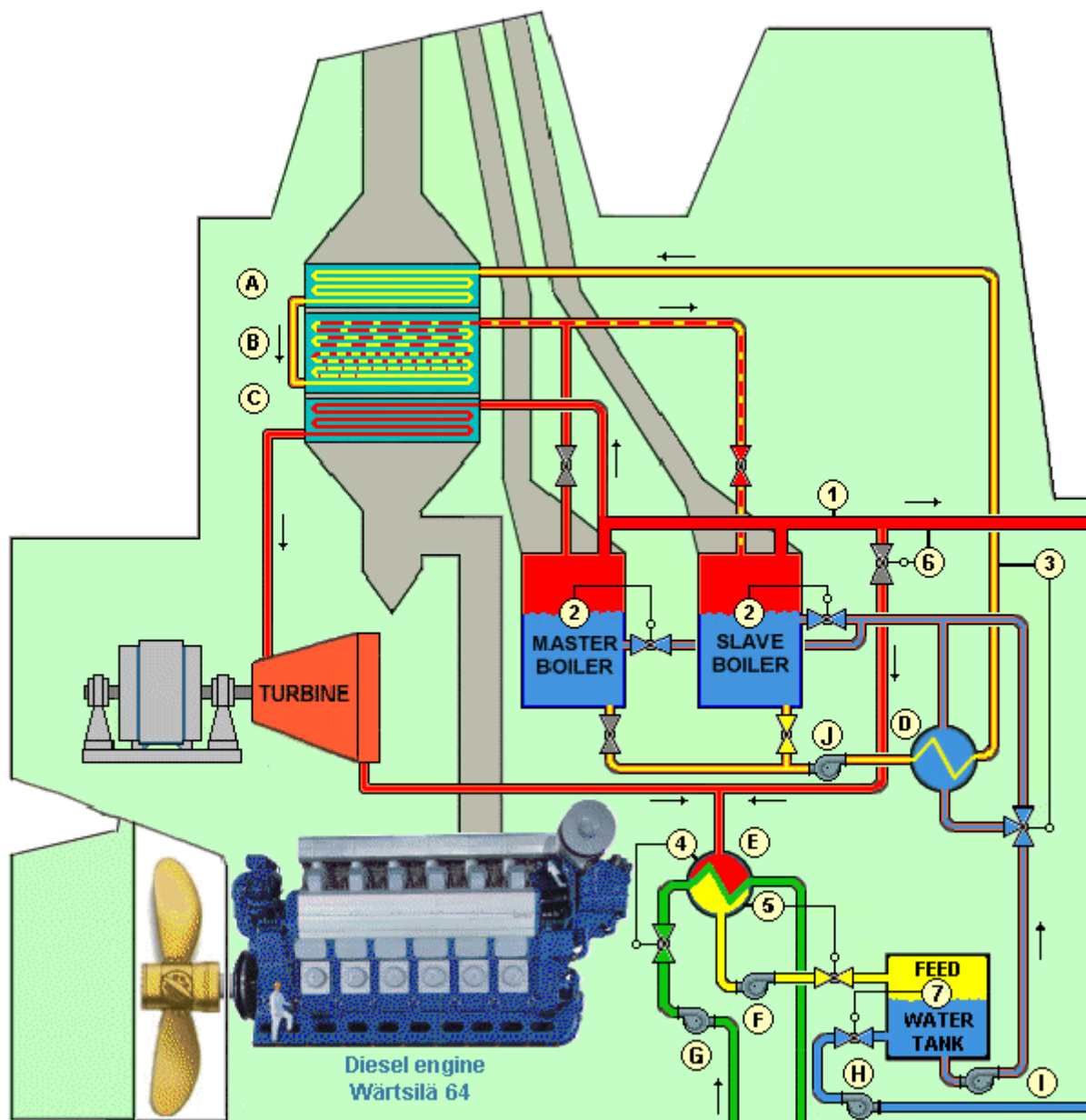
Oddzielnym systemem jest układ regulacji poziomu wody w kotle i właściwe sterowanie pompą wody zasilającej, rys. 6.



Rys. 6. Instalacja przetwornika różnicy ciśnień do regulacji poziomu wody.

NIEKONWENCJONALNE ROZWIĄZANIA INSTALACJI PAROWYCH

W rozwiązaniach niekonwencjonalnych i siłowniach dużej mocy ilość pary uzyskiwanej w kotle lub kotłach utylizacyjnych w czasie normalnej podróży w morzu wystarcza nie tylko do pokrycia potrzeb grzewczych, ale również do pokrycia istniejącego na statku zapotrzebowania na energię elektryczną poprzez zastosowanie turboparowych kondensacyjnych zespołów prądotwórczych. W tym celu konstrukcja kotła utylizacyjnego jest zmodyfikowana o przegrzewacz pary. Pozwala to na maksymalne wykorzystanie ciepła spalin odlotowych z silnika i zapewnia odpowiednie parametry (ciśnienie i temperaturę) pary dolotowej. Równocześnie zmianie ulega cała instalacja parowa, zwłaszcza po stronie skroplinowo-zasilającej, co jest spowodowane koniecznością zastosowania skraplacza powierzchniowego chłodzonego wodą morską, oraz wprowadzeniem podgrzewania wody zasilającej kocioł utylizacyjny, rys. 7.



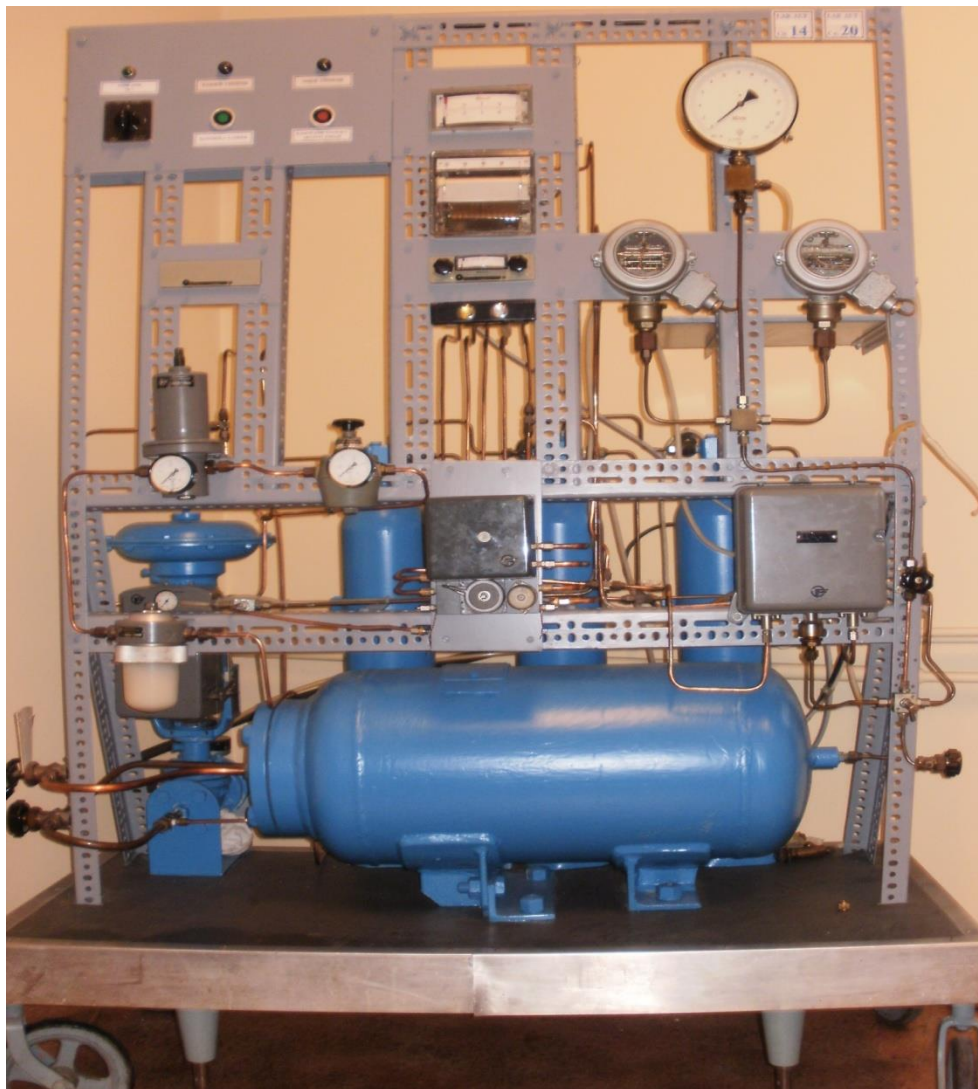
Rys. 7 Instalacja kotła parowego z głęboką utylizacją.

A – sekcja podgrzewacza wody cyrkulacyjnej, B – sekcja wytwarzania pary, C - sekcja przegrzewacza pary, D – podgrzewacz wody zasilającej, E – skraplacz, F – pompa skroplinowa, G – pompa chłodząca, H – pompa uzupełniająca, I – pompa zasilająca, J – pompa cyrkulacyjna, 1 – regulacja ciśnienia pary, 2 – regulacja poziomu wody, 3 – regulacja temperatury wody cyrkulacyjnej, powyżej 135°C z uwagi na korozję niskotemperaturową, 4 – regulacja ciśnienia skraplania, 5 – regulacja poziomu wody skroplinowej, 6 – regulacja spadku ciśnienia, 7 – regulacja poziomu wody w skrzyni ciepłej.

Do sterowania całym układem konieczne są nowoczesne systemy sterowania w oparciu o sterownik. Parametry regulacyjne są ze sobą skorelowane. W systemie występuje generator elektryczny napędzany turbiną parową, którego zadaniem jest wykorzystać nadwyżki energii z jednoczesną pracą pozostałych układów i bezpieczną eksploatacją kotła utylizacyjnego. Realizację wszystkich celów mogą zapewnić dzisiaj tylko nowoczesne układy sterowania cyfrowego ze sterownikiem.

3. Stanowisko ćwiczeniowe

Kocioł jako obiekt regulacji zbudowany jest jako symulacja parametrów układu pneumatycznego. Składa się z kilku pojemności i oporów połączonych szeregowo co symuluje układ inercyjny wyższego rzędu, rys. 8.



Rys. 8. Stanowisko laboratoryjne do symulacji układu regulacji kotła utylizacyjnego.

Na danym obiekcie zbudowano układ regulacji ciśnienia powietrza z zaworem pneumatycznym na dolocie. Ciśnienie powietrza odpowiada parametrom pary wodnej w kotle utylizacyjnym. Stanowisko składa się z przetwornika wysokich ciśnień, regulatora PID oraz siłownika pneumatycznego z ustawnikiem pozycyjnym do sterowania zaworem pneumatycznym na wejściu do obiektu.

4. Przebieg ćwiczenia

Stanowisko laboratoryjne kotła utylizacyjnego załącza prowadzący.

Według wskazówek prowadzącego należy zapoznać się z:

- punktami pomiarowymi kotła,
- elementami regulacji,
- punktami sterowania automatyki,
- punktami sygnalizacji alarmowej.

Według wskazówek prowadzącego należy wykonać:

- załączenie automatyki kotła,
- załączenie trybu automatycznej regulacji kotła,
- zmianę wartości zadanej układu regulacji,
- ocenę jakości regulacji ciśnienia w kotle,
- ocenę nastaw regulatora,
- załączenie trybu sterowania ręcznego kotła.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać schemat połączeń układu pomiarowego z oznaczeniem elementów wg symboliki znormalizowanej wraz z krótkim opisem elementów.

6. Pytania kontrolne

Kocioł utylizacyjny – budowa i funkcje na statku.

Automatyzacja procesu utylizacji ciepła spalin.

Przedstawić obiekt regulacji oraz elementy automatyki.

Przedstawić punkty sterowania układu automatyki.

Przedstawić punkty obserwacyjne poprawnej pracy układu automatyki.

Przedstawić czynności we właściwej kolejności przełączenia układu z trybu automatyki w tryb ręczny i odwrotnie.

Przedstawić czynności we właściwej kolejności do wykonania charakterystyki skokowej kotła utylizacyjnego.

Umiejętność czytania schematów automatyki

Literatura

1. C. Behrendt, A. Adamkiewicz, P. Krause. Turboprądnica utylizacyjna na parę nasyconą jako alternatywne źródło energii elektrycznej w systemie odzyskiwania energii wtórnej statku. XXVII Sympozjum Siłowni okrętowych 2006.
2. S. Ciesielski, Z. Górski. Automatyzacja okrętowych maszyn i urządzeń pomocniczych. Gdynia, Trademar 2001.
3. Materiały internetowe.

Vapour pressure p and density ρ of water at different temperatures											
$t[^\circ\text{C}]$	T[k]	P[bar]	$\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$	$t[^\circ\text{C}]$	T[k]	P[bar]	$\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$	$t[^\circ\text{C}]$	T[k]	P[bar]	$\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$
0	273.15	0.00611	9999.8	61	334.15	0.2086	982.6	138	411.15	3.414	927.6
1	274.15	0.00657	9999.9	62	335.15	0.2184	982.1	140	413.15	3.614	925.8
2	275.15	0.00706	9999.9	63	336.15	0.2286	981.6	145	418.15	4.155	921.4
3	276.15	0.00758	9999.9	64	337.15	0.2391	981.1	150	423.15	4.760	916.8
4	277.15	0.00813	1000.0	65	338.15	0.2501	980.5	155	428.15	5.433	912.1
5	278.15	0.00872	1000.0	66	339.15	0.2615	979.9	160	433.15	6.181	907.3
6	279.15	0.00935	1000.0	67	340.15	0.2733	979.3	165	438.15	7.008	902.4
7	280.15	0.01001	999.9	68	341.15	0.2856	978.8	170	443.15	7.920	897.3
8	281.15	0.01072	999.9	69	342.15	0.2984	978.2	175	448.15	8.924	892.1
9	282.15	0.01147	999.8	70	343.15	0.3116	977.7	180	453.15	10.027	886.9
10	283.15	0.01227	999.7	71	344.15	0.3253	977.0	185	458.15	11.233	881.5
11	284.15	0.01312	999.7	72	345.15	0.3396	976.5	190	463.15	12.551	876.0
12	285.15	0.01401	999.6	73	346.15	0.3543	976.0	195	468.15	13.987	870.4
13	286.15	0.01497	999.4	74	347.15	0.3696	975.3	200	473.15	15.50	864.7
14	287.15	0.01597	999.3	75	348.15	0.3855	974.8	205	478.15	17.243	858.8
15	288.15	0.01704	999.2	76	349.15	0.4019	974.1	210	483.15	19.077	852.8
16	289.15	0.01817	999.0	77	350.15	0.4189	973.5	215	488.15	21.060	846.7
17	290.15	0.01936	998.8	78	351.15	0.4365	972.9	220	493.15	23.198	840.3
18	291.15	0.02062	998.7	79	352.15	0.4547	972.3	225	498.15	25.501	833.9
19	292.15	0.02196	998.5	80	353.15	0.4736	971.6	230	503.15	27.976	827.3
20	293.15	0.02337	998.3	81	354.15	0.4931	971.0	235	508.15	30.632	820.5
21	294.15	0.02485	998.1	82	355.15	0.5133	970.4	240	513.15	33.478	813.6
22	295.15	0.02642	997.8	83	356.15	0.5342	969.7	245	518.15	36.523	806.5
23	296.15	0.02808	997.6	84	357.15	0.5557	969.1	250	523.15	39.776	799.2
24	297.15	0.02982	997.4	85	358.15	0.5780	968.4	255	528.15	43.246	791.6
25	298.15	0.03166	997.1	86	359.15	0.6011	967.8	260	533.15	46.943	783.9
26	299.15	0.03360	996.8	87	360.15	0.6249	967.1	265	538.15	50.877	775.9
27	300.15	0.03564	996.6	88	361.15	0.6495	966.5	270	543.15	55.058	767.8
28	301.15	0.03778	996.3	89	362.15	0.6749	965.8	275	548.15	59.496	759.3
29	302.15	0.04004	996.0	90	363.15	0.7011	965.2	280	553.15	64.202	750.5
30	303.15	0.04241	995.7	91	364.15	0.7281	964.4	285	558.15	69.186	741.5
31	304.15	0.04491	995.4	92	365.15	0.7561	963.8	290	563.15	74.461	732.1
32	305.15	0.04753	995.1	93	366.15	0.7849	963.0	295	568.15	80.037	722.3
33	306.15	0.05029	994.7	94	367.15	0.8146	962.4	300	573.15	85.927	712.2
34	307.15	0.05318	994.4	95	368.15	0.8453	961.6	305	578.15	92.144	701.7
35	308.15	0.05622	994.0	96	369.15	0.8769	961.0	310	583.15	98.700	690.6
36	309.15	0.05940	993.7	97	370.15	0.9094	960.2	315	588.15	105.61	679.1
37	310.15	0.06274	993.3	98	371.15	0.9430	959.6	320	593.15	112.89	666.9
38	311.15	0.06624	993.0	99	372.15	0.9776	958.6	325	598.15	120.56	654.1
39	312.15	0.06991	992.7	100	373.15	1.0133	958.1	330	603.15	128.63	640.4
40	313.15	0.07375	992.3	102	375.15	1.0878	956.7	340	613.15	146.05	610.2
41	314.15	0.07777	991.9	104	377.15	1.1668	955.2	350	623.15	165.35	574.3
42	315.15	0.08198	991.5	106	379.15	1.2504	953.7	360	633.15	186.75	527.5
43	316.15	0.08639	991.1	108	381.15	1.3390	952.2	370	643.15	210.54	451.8
44	317.15	0.09100	990.7	110	383.15	1.4327	950.7	374.1	647.30	221.2	315.4
45	318.15	0.09582	990.2	112	385.15	1.5316	949.1	5			
46	319.15	0.10086	989.8	114	387.15	1.6362	947.6				
47	320.15	0.10612	989.4	116	389.15	1.7465	946.0				
48	321.15	0.11162	988.9	118	391.15	1.8628	944.5				
49	322.15	0.11736	988.4	120	393.15	1.9854	942.9				
50	323.15	0.12335	988.0	122	395.15	2.1145	941.2				
51	324.15	0.12961	987.6	124	397.15	2.2504	939.6				
52	325.15	0.13613	987.1	126	399.15	2.3933	937.9				
53	326.15	0.14293	986.6	128	401.15	2.5435	936.2				
54	327.15	0.15002	986.2	130	403.15	2.7013	934.6				
55	328.15	0.15741	985.7	132	405.15	2.8670	932.8				
56	329.15	0.16511	985.2	134	407.15	3.041	931.1				
57	330.15	0.17313	984.6	136	409.15	3.223	929.4				
58	331.15	0.18147	984.2								
59	332.15	0.19016	983.7								
60	333.15	0.19920	983.2								

