



# ANALIZA PORÓWNAWCZA ROZWIĄZAŃ OKRĘTOWYCH INSTALACJI GRZEWCZYCH

**Dominik Kreft**

*Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12, 80-950 Gdańsk, Poland  
tel.: +48 506 850 746  
e-mail: dominikkreft@gmail.com*

## **Abstrakt**

*W artykule przedstawiono opisy i schematy okrętowych instalacji grzewczych parowych i olejowych. Dokonano przeglądu ich własności oraz przeprowadzono analizę porównawczą z punktu widzenia korzyści eksploatacyjnych.*

**Słowa kluczowe:** instalacja pary grzewczej, instalacja oleju grzewczego, siłownia okrętowa

## **1. Wstęp**

Praktycznie na każdym statku potrzebna jest instalacja grzewcza. Jej zadaniem jest pokrycie zapotrzebowania na ciepło. Źródłem ciepła jest kocioł utylizacyjny, wykorzystujący ciepło odpadowe spalin lub kocioł pomocniczy opalany paliwem. Możliwe jest też wykorzystanie innych źródeł ciepła np. ciepła odpadowego w powietrzu doładowującym lub wodzie chłodzącej silniki.

Instalacje grzewcze dzieli się na:

- Instalacje pary grzewczej
- Instalacje oleju grzewczego

Sporadycznie występują (na statkach charakteryzujących się małym zapotrzebowaniem na ciepła) instalacje wody grzewczej lub instalacje grzewcze elektryczne. W kolejnych rozdziałach zostaną scharakteryzowane instalacje grzewcze parowe i olejowe.

Odbiorniki ciepła na statkach można podzielić ze względu na wpływ warunków zewnętrznych na wartość zapotrzebowania ciepła [1,4,5]

### Odbiorniki, których praca nie zależy od warunków zewnętrznych:

- podgrzewacze paliwa (przed wirówkami, końcowe przed silnikami)
- podgrzewacze oleju (przed wirówkami)
- podgrzewacze wody (sanitarnej i przed silnikami)

### Odbiorniki, których praca zależy od warunków zewnętrznych:

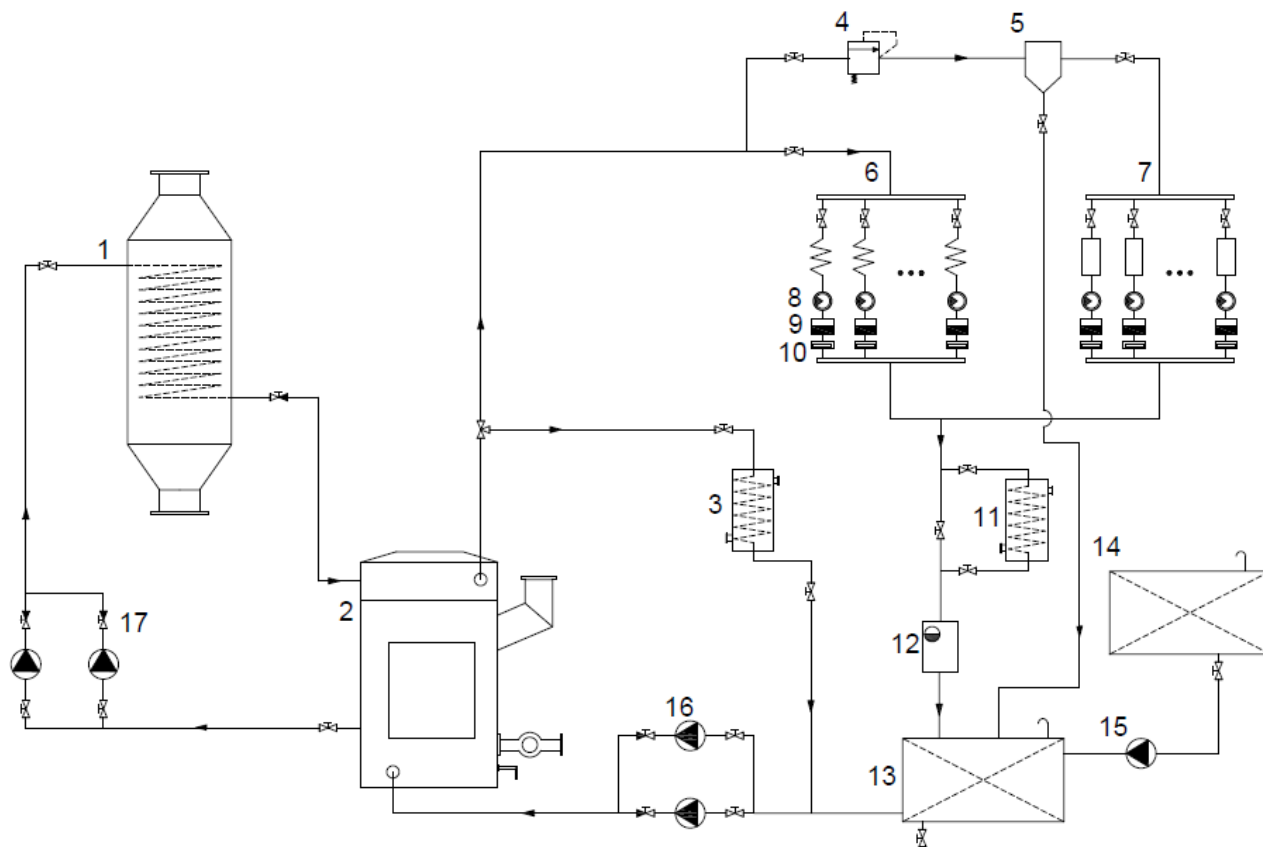
- węzownice w zbiornikach paliwa, oleju i wody
- nagrzewnice w centralach klimatyzacyjnych

Na starszych statkach para grzewcza stosowana była również w zdmuchiwaczach sadzy, do przedmuchiwania kingstonów, do zasilania tyfonu oraz do zasilania smoczków wyparowników. Urządzenia te powodowały straty czynnika grzewczego w instalacji i obecnie zastępowane są innymi czynnikami np. sprężonym powietrzem.

## **2. Instalacje pary grzewczej**

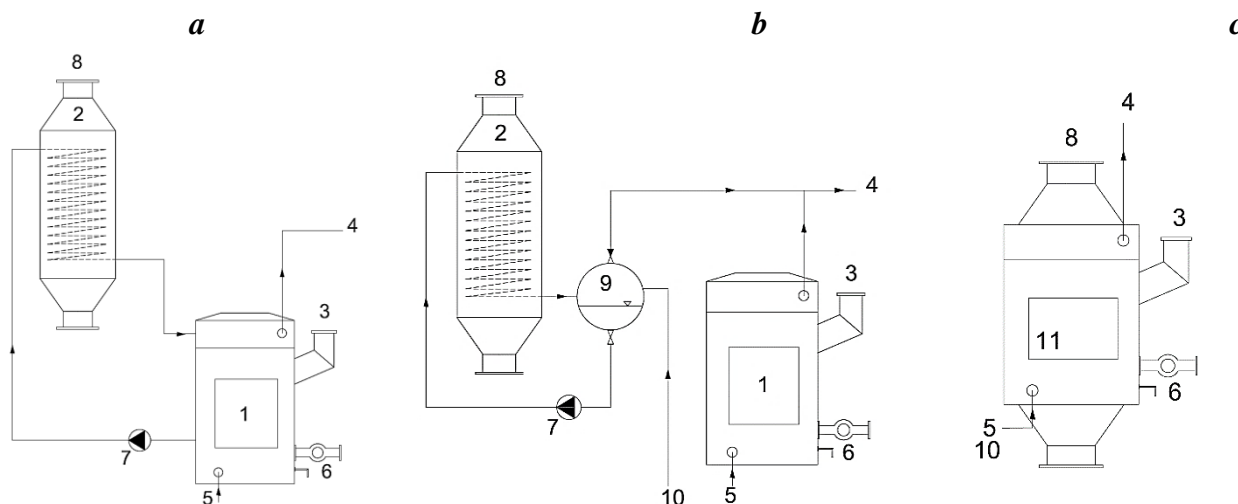
Większość obecnie pływających statków posiada instalację grzewczą parową, ponieważ w wielu przypadkach jest ona uzasadniona ekonomicznie. W instalacji kocioł produkuje parę suchą nasyconą ( $x=1$ ), lub parę mokrą o bardzo wysokim stopniu suchości. Niższe ciśnienie wpływa na zwiększenie sprawności systemu, ale jednocześnie obniża temperaturę pary grzewczej. Z drugiej strony niskie ciśnienie oznacza niską temperaturę i konieczność zwiększenia średnic rurociągów. Systemy parowe są instalacjami wysokociśnieniowymi. Na statkach ciśnienia za kotłem wynoszą  $0,4 \div 1,8 \text{ MPa}$ , a odpowiadające im temperatury nasycenia  $144 \div 208^\circ \text{C}$ . [1,5]

Rysunek 1 przedstawia schemat ideowy instalacji parowej. Na typowych statkach w kotle utylizacyjnym 1 wytwarzana jest para podczas pływania w morzu, a w kotle opalanym 2 podczas postoju, manewrów i rozruchu silnika. W przypadku zwiększenia zapotrzebowania na parę grzewczą, oba kotły pracują równolegle. Obieg wody przez przestrzeń wodno-parową i kotły zapewnia główna i pomocnicza pompa obiegowa 17, pracująca z taką wydajnością, aby krotność obiegu wody wynosiła  $n = 4 \div 6$ . Para o pełnym ciśnieniu, jest kierowana do kolektora 6 a o ciśnieniu zredukowanym przez zawór redukcyjny 4 do kolektora 7. W rurociągach parowych montowane są odwodnienia 5 oraz odpowietrzenia. Za każdym z odbiorników zamontowane są waposkopy 8, odwadniacze 9 oraz zawory zwrotne 10. Waposkopy pozwalają na weryfikację czystości czynnika roboczego. Specjalna konstrukcja odwadniaczy termodynamicznych zapewnia jedynie przepływ czynnika w stanie ciekłym, a zawory zwrotne nie pozwalają wpłynąć kondensatowi do odbiorników, jeśli wystąpiłoby ciśnienie zwrotne. Za odbiornikami znajduje się chłodnica skroplin 11, która ochładza skropliny do temperatury  $70 \div 90^\circ \text{C}$ , aby uniknąć wtórnego odparowania i tym samym strat czynnika w skrzyni cieplnej 13. Zamiast chłodnicy skroplin stosuje się niekiedy chłodzenie skrzyni cieplnej za pomocą węzownic. Para przepływająca przez wszystkie wymienniki ciepła, które podgrzewają czynniki ropopochodne jest kierowana do zbiornika obserwacyjnego skroplin 12 w którym weryfikuje się czystość skroplin. W razie zauważenia substancji ropopochodnych w kondensacie, usuwa się nieszczelność, a skropliny kieruje się do zbiornika ściekowego. Skrzynia cieplna 13 ma za zadanie kompensować zmiany wahań wydatków, odgazowywać oraz filtrować. Podłączony jest do niej zbiornik uzupełniający 14, który przez pompę uzupełniającą 15 uzupełnia ubytki kondensatu. W skrzyni cieplnej monitoruje się oraz uzupełnia dodatki do wody odpowiedzialne za jej gęstość, twardość i alkaliczność. W przypadku wystąpienia nadmiaru produkcji pary przez kocioł utylizacyjny, część strumienia trafia do skraplacza nadmiarowego 3. Woda ze skrzyni cieplnej podawana jest do walczaka kotła pomocniczego za pomocą pompy zasilającej 16, której wydajność powinna być nie mniejsza niż 1,15 wydajności maksymalnej kotła. [2,4]



Rysunek 1 Schemat ideowy parowej instalacji grzewczej; 1 – kocioł utylizacyjny; 2 – kocioł opalany; 3 – skraplacz nadmiarowy; 4 – zawór redukcyjny; 5 – odwadniacz; 6 – odbiorniki pary wysokiego ciśnienia; 7 – odbiorniki pary niskiego ciśnienia; 8 – waposkop; 9 – odwadniacz termodynamiczny; 10 – zawór zwrotny płytkowy; 11 – chłodnica skroplin; 12 – zbiornik obserwacyjny skroplin; 13 – skrzynia ciepła; 14 – zbiornik zapasowy wody kotłowej; 15 – pompa uzupełniająca skrzynię ciepłą; 16 – pompy zasilające; 17 – pompy obiegowe kotła utylizacyjnego

Podstawowym rozwiązaniem wytwarzania pary jest połączenie kotła utylizacyjnego z przestrzenią parowo-wodną kotła pomocniczego i współdzielenie jej w przypadku pracy obu kotłów (Rysunek 2a). Jego główną zaletą jest prosta konstrukcja oraz utrzymywanie kotła utylizacyjnego w stanie „gorącym” podczas postoju, co zapobiega korozji węzownic od strony spalin. Główną wadą tego rozwiązania jest niemożność wykonywania napraw kotła opalanego podczas pływnięcia w morzu oraz długi czas nagrzewania się kotła opalanego spowodowany bardzo dużą objętością przestrzeni parowo-wodnej. Drugą możliwością jest zainstalowanie osobnego walczaka dla kotła utylizacyjnego (Rysunek 2b). Dzięki temu obie instalacje są autonomiczne i istnieje możliwość ich serwisowania podczas postoju maszyny. Niestety dodatkowy walczak i jego armatura zwiększa koszty inwestycyjne i złożoność układu. Trzecią opcją jest zastosowanie kotła kombinowanego (Rysunek 2c), który może być ogrzewany za pomocą spalin wylotowych jak i za pomocą paliwa ciekłego. Jest to możliwość najkorzystniejsza biorąc pod uwagę złożoność instalacji. Jednakże kocioł taki posiada dużo większe wymiary niż kotły niepołączone i należy przeanalizować, czy w linii spalin wylotowych jest wystarczająco dużo miejsca, aby taki kocioł zainstalować. [3]



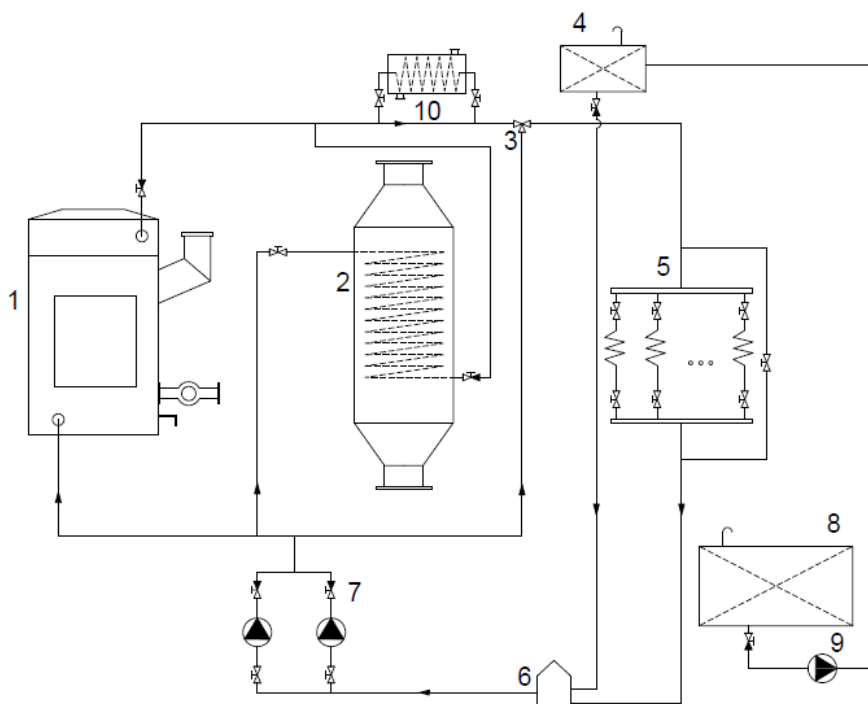
Rysunek 2 Konfiguracje kotła opalanego i utylizacyjnego na statku.

a) kocioł utylizacyjny korzystający z przestrzeni parowo-wodnej kotła opalanego b) kocioł utylizacyjny z niezależnym walczakiem c) kocioł kombinowany; 1 – kocioł opalany; 2 – kocioł utylizacyjny; 3 – wylot spalin kotła opalanego; 4 – wylot pary do systemu; 5 – rurociąg wody zasilającej kocioł opalany; 6 – palnik kotłowy; 7 – pompa obiegowa kotła utylizacyjnego; 8 – wylot spalin kotła utylizacyjnego; 9 – walczak parowo-wodny; 10 – rurociąg wody zasilającej kotła utylizacyjnego; 11 – kocioł kombinowany

### 3. Instalacje oleju grzewczego

Olej grzewczy, będący medium w instalacjach oleju grzewczego może być mineralny lub syntetyczny. Charakteryzuje się niską lepkością, długim okresem używalności i odpornością na wysokie temperatury. Instalacje oleju grzewczego należą do instalacji niskociśnieniowych, a ciśnienia wynoszą  $0,25 \div 0,5 \text{ MPa}$ . Charakteryzują się przy tym wysokimi temperaturami w zakresie  $300 \div 360^\circ \text{C}$ . [2]

Rysunek 2 przedstawia schemat ideowy jednoobiegowej instalacji oleju grzewczego. Instalacja może być jednoobiegowa lub dwuobiegowa. Olej podgrzewany jest w nagrzewnicy opalanej 1, utylizacyjnej 2 lub w obu jednocześnie. Elementem zapewniającym stałą temperaturę, jest zawór termostatyczny 3 który miesza gorący olej wychodzący z nagrzewnic z olejem, który przepływa przez bypass. W przypadku dużego nadmiaru ciepła, olej grzewczy jest schładzany w chłodnicy oleju 10. Obieg w instalacji powodują pompy obiegowe 7. Podgrzany olej oddaje ciepło w odbiorcach 5, który następnie kierowany jest do odgazowywacza 6. Zadaniem odgazowywacza jest odprowadzenie wydzielających się par i gazów do zbiornika wyrównawczego 4. Ubytek oleju napływa grawitacyjnie ze zbiornika wyrównawczego do odgazowywacza. Z kolei do zbiornika wyrównawczego, olej pompowany jest ze zbiornika zapasowego 8 za pomocą pompy uzupełniającej 9. Na zbiornikowcach, gdy temperatura oleju jest zbyt wysoka do ogrzewania ładunku, stosuje się instalację dwuobiegową lub wytwornicę pary ogrzewaną olejem (i czym się różni). Osobną wytwornicę pary stosuje się również, gdy para potrzebna jest do celów technologicznych. [1]



Rysunek 3 Schemat ideowy instalacji oleju grzewczego; 1 – nagrzewnica opalana; 2 – nagrzewnica utylizacyjna; 3 – zawór termostacyjny na bypasse; 4 – zbiornik wyrównawczy; 5 – odbiorniki ciepła; 6 – odgazowywacz; 7 – pompy obiegowe; 8 – zbiornik zapasowy; 9 – pompa uzupełniająca; 10 – chłodnica oleju

#### 4. Porównanie instalacji grzewczych

Zalety i wady każdej z instalacji wynikają z różnic we właściwościach zastosowanych mediów grzewczych. Dla przejrzystości, porównanie najistotniejszych cech obu instalacji przedstawia Tabela 1. [2,6]

Tabela 1 Porównanie cech instalacji grzewczych parowych i olejowych

Cecha	Instalacja pary grzewczej	Instalacja oleju grzewczego
Parametry czynnika	0,4 ÷ 1,8MPa, 144 ÷ 208°C	0,25 ÷ 0,5MPa, > 300°C
Prędkości przepływu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rurociąg kondensatu &lt; 0,5 m/s</li> <li>• Rurociąg pary suchej nasyconej 20 ÷ 35 m/s</li> <li>• Rurociąg tłoczny pomp &lt; 1,5 m/s</li> <li>• Rurociąg pary przegrzanej 35 ÷ 65 m/s</li> </ul>	Rurociąg oleju grzewczego < 3 m/s
Czynnik grzewczy	Korozja i kamień kotłowy, Kosztowne remonty, wymiana czynnika mało kosztowna	Szlam i osady węglowe, Starzenie się oleju – kosztowna wymiana max co 15 lat
Bezpieczeństwo	Niebezpieczna dla ludzi podczas rozszczelnienia instalacji, długi	Niebezpieczna dla ludzi podczas rozszczelnienia instalacji, niebezpieczeństwo wystąpienia

	czas rozruchu	pożaru, krótki czas rozruchu
Współczynnik przejmowania ciepła	Dla kondensującej pary 3 ÷ 200 kW/m <sup>2</sup> K	Dla oleju grzewczego 0,5 ÷ 20 kW/m <sup>2</sup> K
Stopień skomplikowania instalacji	Wyższy	Niższy
Pompy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pompy obiegowe</li> <li>• Pompy zasilające</li> <li>• Pompa uzupełniająca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pompy obiegowe</li> <li>• Pompa uzupełniająca</li> </ul>
Rurociągi	Mniejsze średnice, krótsze odcinki, grubsze ścianki, mniej kompensatorów, liczne odwodnienia i odpowietrzenia	Większe średnice, dłuższe odcinki, cieńsze ścianki, więcej kompensatorów
Regulacja ilości ciepła	Przez skraplacz nadmiarowy	Przez zawór termostatyczny i chłodnicę oleju
Wężownice	Przy zbyt długiej wężownicy para wodna skrapla się i pogorsza się wymiana ciepła, utrudniona konstrukcja przez efekt uderzeń wodnych, zjawisko ciśnienia zwrotnego	Można stosować długie wężownice, wymagana większa powierzchnia wymiany ciepła
Strata czynnika	Wtórne odparowanie, szumowanie kotła, upust technologiczny pary, straty ≈ 14%	Brak strat
Zanieczyszczenie czynnika roboczego	Wapospokopy i zbiornik obserwacyjny skroplin za odbiornikami podgrzewającymi olej lub paliwo	Wapospokopy przy każdym wymienniku ciepła od strony instalacji okrętowych
Koszt	Przy wysokich ciśnieniach wyższy, przy niskich – niższy, wysokie wymagania urzędów klasyfikacyjnych	Umiarkowany, niższe wymagania urzędów klasyfikacyjnych

## 5. Podsumowanie i wnioski

Po przeanalizowaniu obu typów instalacji grzewczych, nie można jednoznacznie rozstrzygnąć która z instalacji jest rozwiązaniem bardziej korzystnym. Dobór odpowiedniej instalacji powinien być każdorazowo przeprowadzony przy uwzględnieniu warunków eksploatacji i specyfikacji statku. Taki wniosek potwierdzająca się w rzeczywistości, ponieważ na statkach można spotkać zarówno instalacje parowe jak i olejowe, z przewagą ilościową tych pierwszych.

## 6. Bibliografia

- [1] Giernalczyk, M., Górski, Z., *Siłownie okrętowe cz. 2 Instalacje okrętowe*, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2011.
- [2] Michalski, R., Zeńczak, W., *Ocena efektywności okrętowych systemów grzewczych*, Marine Technology 2000 XIX Sesja Naukowa Okrętowców, Szczecin - Dziwnówek 2000.
- [3] Urbański, P., *Gospodarka energetyczna na statkach*, Wydawnictwo Morskie, Gdynia 1978.
- [4] Urbański, P., *Spalinowe siłownie okrętowe eksploatacja i gospodarka energetyczna*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1989.
- [5] Wojnowski, W., *Okrętowe siłownie spalinowe cz. II i cz. III*, Gdańsk 1991.
- [6] *Ujednolicone metody projektowo-obliczeniowe systemu parowego siłowni spalinowych, część I II III*, C.T.O. Gdańsk 1974