

**ANALIZA MOŻLIWOŚCI I CELOWOŚCI WYKORZYSTANIA CIEPŁA  
ODPADOWEGO SILNIKÓW GŁÓWNYCH  
POGŁĘBIAREK SSĄCYCH NASIĘBIERNYCH**

**Damian Bocheński**

*Gdańsk University of Technology*  
*Ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, Poland*  
*Tel.: +48 58 3472773, fax: +48 58 3472430*  
*e-mail: daboch@pg.edu.pl*

**Streszczenie**

*Artykuł przedstawia analizę możliwości i celowości wykorzystania ciepła odpadowego silników głównych na pogłębiarkach ssących nasiębiernych. Skoncentrowano się na ciepłe w spalinach wylotowych i w wodzie chłodzącej silnik. Wykorzystując wyniki własnych badań eksploatacyjnych pogłębiarek, określono zapotrzebowania na energię cieplną oraz na wodę słodką dla 6 hipotetycznych pogłębiarek ssących nasiębiernych o różnych wielkościach, określono dla których wielkości pogłębiarek kotły utylizacyjne i wyparowniki będą w stanie pokrywać całe zapotrzebowanie. Przeanalizowano wyniki porównując je z rzeczywistością projektową i eksploatacyjną pogłębiarek ssących nasiębiernych.*

**Słowa kluczowe:** *Pogłębiarki ssące nasiębierne, silownie okrętowe, silniki główne, ciepło odpadowe*

## **1. Wprowadzenie**

Na typowych statkach transportowych powszechne jest wykorzystywanie ciepła odpadowego silników głównych. Wykorzystuje się ciepło odpadowe w spalinach (zastosowanie kotłów utylizacyjnych do wytwarzania pary grzewczej) oraz w wodzie chłodzącej silnik (zastosowanie wyparowników podciśnieniowych do wytwarzania wody słodkiej z wody zaburtowej).

Kotły utylizacyjne praktycznie występują na wszystkich rodzajach statków transportowych począwszy od małych statków do największych. Główną przyczyną tego stanu rzeczy jest powszechne stosowanie na statkach paliwa ciężkiego i związane z tym większe zapotrzebowanie na energię cieplną. Na większości typów statków transportowych stosowany jest układ kotłów pomocniczych składający się z kotła utylizacyjnego pokrywającego zapotrzebowanie na energię cieplną w czasie trwania rejsu i kotła opalanego pracującego w czasie manewrów i postojów w portach, na kotwicy. Na statkach o dużym zapotrzebowaniu na energię cieplną (np. zbiornikowce) kocioł opalany pracuje również w czasie rejsu wspomagając kocioł utylizacyjny.

Są jednak rodzaje statków, na których stosowanie kotłów utylizacyjnych nie jest tak powszechne jak na statkach transportowych. Spowodowane to jest oczywiście nie tak powszechnym stosowaniem paliwa ciężkiego jak również charakterystyką eksploatacyjną tych statków. Do tej grupy można zaliczyć np. pogłębiarki. Najbardziej charakterystycznym rodzajem pogłębiarek są pogłębiarki ssące nasiębierne. W niedalekiej przeszłości kotły utylizacyjne na tych pogłębiarkach występowały rzadko, tylko na największych pogłębiarkach. Obecnie od kilkunastu lat zmienia się ta tendencja. Na coraz mniejszych pogłębiarkach stosowane są kotły utylizacyjne.

Wyparowniki podobnie jak kotły utylizacyjne występują praktycznie na wszystkich statkach transportowych. Dzięki zastosowaniu wyparowników możliwe stało się znaczne ograniczenie pojemności zbiorników zapasowych wody słodkiej. Na pogłębiarkach stosowanie wyparowników jest jednak znacznie ograniczone. Wynika to m.in. z warunków pracy pogłębiarek jak również z znacznie mniejszej autonomiczności tych statków.

Niniejszy artykuł jest próbą odpowiedzi na pytanie kiedy ekonomicznie uzasadnione może być zastosowanie kotłów utylizacyjnych i wyparowników na tego typu pogłębiarkach.

## 2. Charakterystyka pogłębiarek ssących nasiębiernych i ich układów energetycznych

Pogłębiarki ssące nasiębiernie charakteryzują się hydraulicznym odspajaniem gruntu, który jest transportowany do ładowni gruntowej, przy wykorzystaniu specjalnych pomp przystosowanych do przetłaczania mieszaniny wody z gruntem – pomp gruntowych. Pogłębiarki ssące nasiębiernie wyposażone są zawsze we własny napęd, który zapewnia przemieszczanie się pogłębiarki w trakcie pracy. Wymaganą wysoką manewrowość zapewnia najczęściej dwusrubowy układ napędowy oraz stery strumieniowe. Napęd pogłębiarki umożliwia przewożenie wydobytego urobku na dowolne miejsce odkładu. Opróżnianie ładowni odbywa się poprzez tzw. refulację (wypompowywanie urobku rurociągiem z ładowni na ląd) lub grawitacyjnie (poprzez otwarcie w dnie ładowni klap lub zaworów dennych) [5].

Pogłębiarki tego typu są budowane w szerokim zakresie wielkości. Podstawowym parametrem charakteryzującym wielkość pogłębiarki jest pojemność ładowni gruntowej, która zawiera się w przedziale 300–33 000 m<sup>3</sup>. Łączna moc zainstalowanych silników spalinowych zawiera się w przedziale 1000–38000 kW.

Układy energetyczne pogłębiarek ssących nasiębiernych charakteryzują się dużą różnorodnością. Podstawowym typem układu energetycznego jest układ, w którym dwa (najczęściej) silniki główne zapewniają napęd pogłębiarce i wszystkim odbiorcom energii mechanicznej i elektrycznej. Zespoły prądotwórcze (najczęściej dwa) pracują sporadycznie, praktycznie pokrywają one zapotrzebowanie na energię elektryczną tylko w sytuacji postoju silników głównych. Typ tego układu energetycznego ma kilka wariantów różniących się sposobem napędu głównych odbiorców energii mechanicznej [5].

Są jednak również układy energetyczne charakteryzujące się znacznie większą liczbą silników spalinowych. Takim najbardziej skrajnym przykładem mogą być układy, w których każdy główny odbiorca energii mechanicznej napędzany jest osobnym silnikiem spalinowym a zapotrzebowanie stwarzane przez odbiorniki pomocnicze energii elektrycznej pokrywają tylko zespoły prądotwórcze. Liczba silników spalinowych w tym przypadku sięga nawet 10.

## 3. Możliwości zastosowania kotłów utylizacyjnych

Aby określić możliwości i zasadność stosowania kotłów utylizacyjnych wytypowano 6 hipotetycznych o różnej wielkości pogłębiarek ssących nasiębiernych. Ich parametry podano w tab.1. Parametry pogłębiarek określono wykorzystując charakterystyki techniczne pogłębiarek zawarte w bazie danych DRAGA [3].

**Tablica 1**

Wybrane parametry techniczne 6 analizowanych pogłębiarek ssących nasiębiernych

| Typowielkość<br>pogłębiarki | $V_{LG}$ | $V_{ZP}$ | $N_{SG}$           |                    | $N_{SP}$          |                    | $Z$        |
|-----------------------------|----------|----------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------|
|                             | $m^3$    | $m^3$    | $kW$               |                    | $kW$              |                    | <i>os.</i> |
| Pogłębiarka 1500            | 1500     | 350      | 2300 <sup>1)</sup> | 1800 <sup>2)</sup> | 240 <sup>1)</sup> | 2000 <sup>2)</sup> | 12         |
| Pogłębiarka 2500            | 2500     | 440      | 3700 <sup>1)</sup> | 2400 <sup>2)</sup> | 700 <sup>1)</sup> | 3200 <sup>2)</sup> | 14         |
| Pogłębiarka 4000            | 4000     | 600      | 5500 <sup>1)</sup> | 3000 <sup>2)</sup> | 750 <sup>1)</sup> | 3800 <sup>2)</sup> | 18         |

|                   |       |     |                     |                     |                    |                     |    |
|-------------------|-------|-----|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----|
| Pogłębiarka 6500  | 6500  | 750 | 9000 <sup>1)</sup>  | 5000 <sup>2)</sup>  | 1400 <sup>1)</sup> | 6600 <sup>2)</sup>  | 20 |
| Pogłębiarka 9000  | 9000  | 850 | 11000 <sup>1)</sup> | 9000 <sup>2)</sup>  | 1800 <sup>1)</sup> | 7600 <sup>2)</sup>  | 24 |
| Pogłębiarka 12000 | 12000 | 950 | 12000 <sup>1)</sup> | 10000 <sup>2)</sup> | 2300 <sup>1)</sup> | 10000 <sup>2)</sup> | 32 |

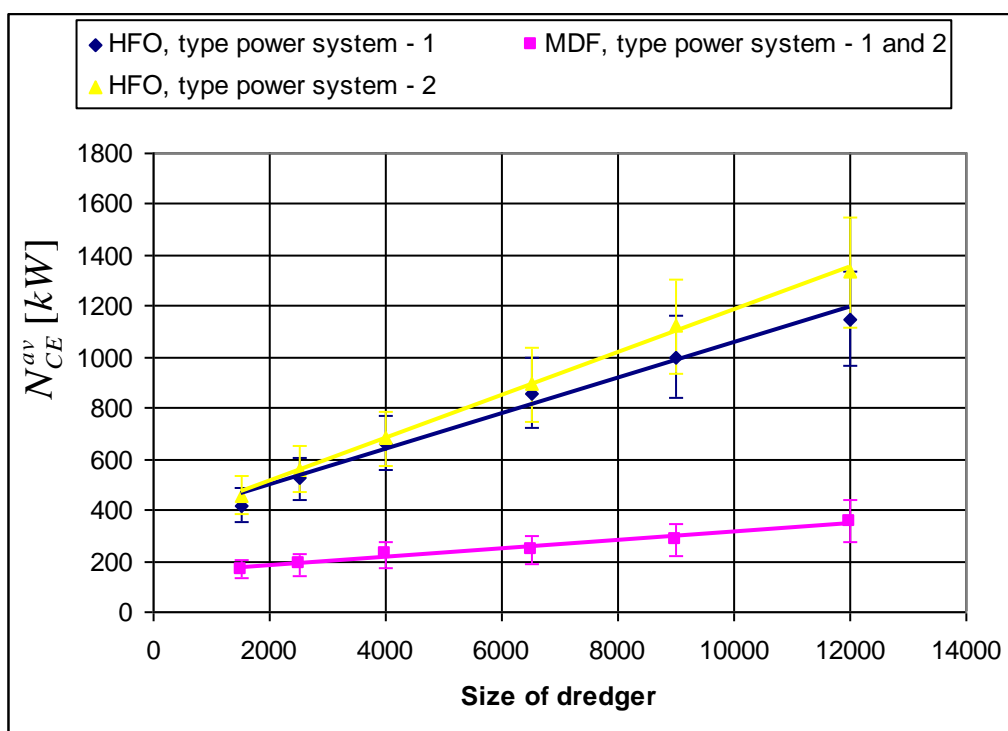
- 1) – rozwiązanie układu energetycznego, w którym silniki główne pokrywają całe zapotrzebowanie na energię stwarzane przez odbiorniki główne i pomocnicze, zaś silniki pomocnicze pokrywają zapotrzebowanie tylko w czasie postoju silników głównych;
- 2) – rozwiązanie układu energetycznego, w którym silniki główne pokrywają zapotrzebowanie na energię stwarzane tylko przez śruby napędu głównego, pozostałe zapotrzebowanie pokrywają szeroko pojęte silniki pomocnicze.

Wykorzystując metodę podaną w pracy [5] obliczono zapotrzebowanie energii cieplnej na tych hipotetycznych pogłębiarkach (przyjęto warunki zimowe). Wyniki przedstawiono w tab.2 oraz na rys.1. Do analizy wybrano dwa skrajnie różniące się typy układu energetycznego oraz dwa rodzaje paliwa: lekkie MDF, ciężkie HFO180. Na rys.1 przedstawiono wartości średniego zapotrzebowania  $N_{CE}^{sr}$  i przy pomocy wąsów ich odchylenia standardowe  $\sigma_{CE}$ .

**Tablica 2**

Wyniki obliczeń parametrów rozkładu zapotrzebowania energii cieplnej na 6 analizowanych pogłębiarkach ssących nasiębiernych

| Typowielkość<br>pogłębiarki | Paliwo HFO    |               |               |               | Paliwo MDF       |               |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|---------------|
|                             | Układ typu 1  |               | Układ typu 2  |               | Układ typu 1 i 2 |               |
|                             | $N_{CE}^{sr}$ | $\sigma_{CE}$ | $N_{CE}^{sr}$ | $\sigma_{CE}$ | $N_{CE}^{sr}$    | $\sigma_{CE}$ |
| Pogłębiarka 1500            | 419,3         | 67,0          | 459,7         | 72,1          | 168,7            | 38,2          |
| Pogłębiarka 2500            | 522,7         | 82,6          | 561,1         | 88,4          | 187,4            | 42,4          |
| Pogłębiarka 4000            | 664,1         | 105,4         | 681,6         | 108,1         | 224,8            | 50,9          |
| Pogłębiarka 6500            | 857,4         | 138,1         | 895,8         | 145,2         | 243,6            | 55,1          |
| Pogłębiarka 9000            | 999,6         | 161,1         | 1121,2        | 185,1         | 280,9            | 63,6          |
| Pogłębiarka 12000           | 1150,4        | 182,4         | 1332,8        | 218,4         | 355,8            | 80,6          |



Rys.1. Zapotrzebowanie energii cieplnej występujące na 6 analizowanych pogłębiarkach ssących nasiębiernych

Losowy charakter obciążeń silników głównych sprawia, że podobny charakter mają rzeczywiste charakterystyki wydajności współpracujących z nimi kotłów utylizacyjnych. Dla obliczenia ilości energii cieplnej, która może być wytworzona przez kocioł utylizacyjny, zastosowano metodę podaną w pracy [5]. W tym przypadku konieczna jest znajomość charakterystyki wydajności kotła utylizacyjnego w zależności od obciążenia silnika głównego  $\bar{Q}_{KU} = f(\bar{N}_{SG})$ .

W tab.3 przedstawiono wyniki obliczeń dotyczące parametrów rozkładu mocy cieplnej kotłów utylizacyjnych analizowanych 6 pogłębiarek w czasie wykonywania robót pogłębiarskich. Praca pogłębiarki ssącej nasiębierniej charakteryzuje się cyklem roboczym składającym się z: załadunku, pływania z ładunkiem, rozładunku i pływania powrotnego bez ładunku. Czynności te różnią się bardzo istotnie, jeśli chodzi o obciążenia eksploatacyjne silników głównych. Dlatego też wyróżniono te czynności w tab.3.

Do obliczeń przyjęto silniki średnioobrotowe firmy Wartsila [7]. Parametry rozkładów eksploatacyjnych obciążeń silników podczas wykonywania czynności wchodzących w skład robót pogłębiarskich określono na podstawie własnych badań eksploatacyjnych [2,5].

**Tablica 3**

Parametry rozkładu możliwej do uzyskania mocy cieplnej kotłów utylizacyjnych na 6 analizowanych pogłębiarkach ssących nasiębiernych

| Typowielkość pogłębiarki | Typ układu energ. | Pływanie z i bez ładunku |               | Załadunek     |               | Rozładunek hydrauliczny |               |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|
|                          |                   | $N_{KU}^{sr}$            | $\sigma_{KU}$ | $N_{KU}^{sr}$ | $\sigma_{KU}$ | $N_{KU}^{sr}$           | $\sigma_{KU}$ |
|                          |                   | kW                       | kW            | kW            | kW            | kW                      | kW            |
| Pogłębiarka 1500         | 1                 | 457,3                    | 114,3         | 555,4         | 83,4          | 450,1                   | 81,1          |
|                          | 2                 | 405,9                    | 81,2          | 228,0         | 27,4          | 207,7                   | 29,1          |
|                          | 1                 | 785,5                    | 196,3         | 947,2         | 142,1         | 752,3                   | 135,6         |

|                   |   |        |       |        |       |        |       |
|-------------------|---|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                   | 2 | 561,6  | 112,3 | 310,8  | 37,3  | 283,7  | 39,7  |
| Pogłębiarka 4000  | 1 | 1291,5 | 284,2 | 1453,2 | 188,7 | 1176,3 | 188,5 |
|                   | 2 | 735,8  | 147,2 | 405,5  | 48,7  | 363,1  | 50,8  |
| Pogłębiarka 6500  | 1 | 2202,9 | 444,5 | 2405,1 | 288,6 | 1960,1 | 274,4 |
|                   | 2 | 1280,2 | 256,0 | 710,4  | 85,3  | 610,7  | 85,5  |
| Pogłębiarka 9000  | 1 | 2940,1 | 588,2 | 3100,4 | 372,6 | 2548,3 | 356,8 |
|                   | 2 | 2410,6 | 482,1 | 1267,1 | 152,1 | 1088,1 | 152,5 |
| Pogłębiarka 12000 | 1 | 3148,6 | 629,7 | 3323,7 | 398,8 | 2798,2 | 391,7 |
|                   | 2 | 2845,4 | 569,1 | 1420,7 | 170,5 | 1221,3 | 171,0 |

Dla wszystkich typowości pogłębiarek z układem energetycznym typu 1 prognozowane wartości średnie mocy cieplnej kotłów utylizacyjnych są większe niż obliczone dla nich zapotrzebowanie na energię cieplną (tab.2). W przypadku układu energetycznego typu 2 tylko podczas pływania wartości średniej mocy cieplnej kotłów przewyższają obliczone zapotrzebowanie na energię cieplną. Stosowanie kotłów utylizacyjnych na pogłębiarkach ssących nasiębiernych uzasadnione jest tylko wówczas, gdy kotły te pokrywają zapotrzebowanie na ciepło w całym okresie trwania stanu roboty pogłębiarskie. Wniosek, jaki można wysnuć analizując dane z tab.2 i 3 jest jednoznaczny, w przypadku pogłębiarek z układem energetycznym typu 2 nieuzasadnione jest stosowanie kotłów utylizacyjnych, gdyż w czasie trwania załadunku i rozładunku ilość wytwarzanej energii cieplnej przez kotły utylizacyjne jest zbyt mała. Spowodowane jest to niskimi obciążeniami silników głównych podczas załadunku i rozładunku.

W analizach ekonomicznych powszechnie wykorzystane są wskaźniki efektywności ekonomicznej jako miary jakości rozwiązania analizowanych wariantów danego rozwiązania konstrukcyjnego. Najczęściej wykorzystywane są wskaźniki: przeciętnego kosztu rocznego **AAC**, zaktualizowanej wartości netto **NPV** oraz okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych **RPT**. W artykule ograniczono się do wskaźnika **RPT**. Wskaźnik ten zdefiniowany jest następująco [5]:

$$RPT = \begin{cases} \frac{\log\left(1 + \frac{q-1}{q} \cdot \frac{\Delta C_{UE}}{\Delta K_{P,O}}\right)}{\log q} & \text{dla } q \neq 1 \\ \frac{\Delta C_{UE}}{\Delta K_{P,O}} & \text{dla } q = 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$q = \frac{1+s}{1+r} \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta C_{UE}$  - różnica pomiędzy ceną rozpatrywanego wariantu układu kotłowego a ceną najtańszego wariantu przyjętego jako rozwiązanie bazowe, mln €;

$\Delta K_p$  - różnica pomiędzy rocznym kosztem paliwa dla wariantu układu energetycznego przyjętego jako rozwiązanie bazowe a rocznym kosztem paliwa dla rozpatrywanego wariantu układu energetycznego, mln €/rok;

$r$  - roczna stopa dyskontowa, %/100,

$s$  - stopa inflacji (roczny wzrost ceny paliwa i oleju), %/100,

W tab.4 zestawiono różnice w kosztach inwestycyjnych pomiędzy rozwiązaniami składającymi się z dwóch kotłów utylizacyjnych i jednego kotła opalanego a rozwiązaniem z tylko jednym kotłem opalonym [4]. W tab.5 przedstawiono różnice w kosztach eksploatacyjnych ograniczonych do różnic w kosztach spalnego paliwa oraz wyliczony wskaźnik *RPT*. Przyjęto trzy udziały czasu pracy pogłębiarki w czasie roku kalendarzowego: 30%, 50% i 60% udziału czasu trwania robót pogłębiarskich w czasie roku kalendarzowym. Dla uproszczenia przyjęto wartości  $r = s = 5\%$ .

**Tablica 4**

Różnice kosztów inwestycyjnych dwóch rozpatrywanych wariantów układów kotłów pomocniczych na pogłębiarkach ssących nasiębiernych [4]

| Typowość pogłębiarki | $\Delta C_{UE}$ |
|----------------------|-----------------|
|                      | euro            |
| Pogłębiarka 1500     | 160.000         |
| Pogłębiarka 2500     | 180.000         |
| Pogłębiarka 4000     | 220.000         |
| Pogłębiarka 6500     | 250.000         |
| Pogłębiarka 9000     | 280.000         |
| Pogłębiarka 12000    | 300.000         |

Udział czasu trwania stanu „roboty pogłębiarskie” w okresie jednego roku kalendarzowego jest bardzo zróżnicowany. Na pogłębiarkach armatorów krajowych i zagranicznych, na których prowadzono w latach 2000–2006 szerokie badania eksploatacyjne, wartości czasów trwania robót pogłębiarskich do czasu roku kalendarzowego zawierały się w przedziale 0,16 – 0,68, przy wartości średniej wynoszącej 0,4 (dane te określono na podstawie zapisów w dziennikach okrętowych). Przy czym wartości mniejsze dotyczyły pogłębiarek mniejszych, zaś wyższe pogłębiarek większych.

W analizach ekonomicznych rozwiązań konstrukcyjnych w okrętownictwie zadowalająca wartość wskaźnika *RPT* przyjmowana jest najczęściej na poziomie 2-3 lat [5].

**Tablica 5**

Różnice kosztów eksploatacyjnych dwóch rozpatrywanych wariantów układów kotłów pomocniczych oraz obliczone wartości wskaźnika *RPT* na 6 analizowanych pogłębiarkach ssących nasiębiernych

| Typowość pogłębiarki | Udział czasu trwania robót pogłębiarskich w czasie roku |            |              |            |              |            |
|----------------------|---|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                      | 30%   |            | 50%          |            | 60%          |            |
|                      | $\Delta K_p$  | <i>RPT</i> | $\Delta K_p$ | <i>RPT</i> | $\Delta K_p$ | <i>RPT</i> |
|                      | euro/rok  | lata       | euro/rok     | lata       | euro/rok     | lata       |
| Pogłębiarka 1500     | 21.800  | 7,3        | 36.300       | 4,4        | 43.600       | 3,7        |
| Pogłębiarka 2500     | 27.500  | 6,5        | 45.800       | 3,9        | 55.000       | 3,3        |
| Pogłębiarka 4000     | 34.700  | 6,3        | 57.900       | 3,8        | 69.500       | 3,1        |
| Pogłębiarka 6500     | 44.600  | 5,6        | 74.400       | 3,4        | 89.300       | 2,8        |
| Pogłębiarka 9000     | 52.000  | 5,4        | 86.500       | 3,2        | 104.000      | 2,7        |
| Pogłębiarka 12000    | 60.000  | 4,9        | 99.500       | 2,8        | 119.400      | 2,3        |

Biorąc powyższe pod uwagę i analizując dane zawarte w tab.5 można stwierdzić, że dla pogłębiarek ssących nasiębiernych stosowanie kotłów utylizacyjnych może być uzasadnione ekonomicznie dla pogłębiarek charakteryzujących się pojemnością ładowni około 6500 m<sup>3</sup> i

większych. W niektórych przypadkach można rozważyć zastosowanie kotłów utylizacyjnych i na mniejszych pogłębiarkach (o pojemnościach ładowni około 4000 m<sup>3</sup>).

#### 4. Możliwości zastosowania wyparowników

Podobnie jak w przypadku kotłów utylizacyjnych wykorzystano dane techniczne 6 hipotetycznych pogłębiarek ssących nasiębiernych i dla nich określono zapotrzebowanie wody słodkiej. Wykorzystano w tym celu metodę podaną w pracy [1]. Metoda ta pozwala określić parametry rozkładu zapotrzebowanej wody słodkiej (na cele konsumpcyjne, sanitarne oraz techniczne – uzupełnianie ubytków wody w instalacjach wody chłodzącej silniki spalinowe i w instalacji parowej). Wyniki przedstawiono w tab. 6 (wartość średniego zapotrzebowania wody słodkiej –  $M_{WS}^{sr}$ , odchylenie standardowe –  $\sigma_{WS}$ ), ograniczono się tylko do układu energetycznego typu 1.

**Tablica 6**

Parametry rozkładu zapotrzebowania wody słodkiej na 6 analizowanych pogłębiarkach ssących nasiębiernych

| Typowielkość pogłębiarki | $M_{WS}^{sr}$ | $\sigma_{WS}$ |
|--------------------------|---------------|---------------|
| Pogłębiarka 1500         | 3,16          | 1,26          |
| Pogłębiarka 2500         | 4,01          | 1,6           |
| Pogłębiarka 4000         | 6,51          | 2,3           |
| Pogłębiarka 6500         | 8,3           | 2,92          |
| Pogłębiarka 9000         | 9,82          | 3,51          |
| Pogłębiarka 12000        | 11,81         | 4,25          |

Wyparowniki stosowane na statkach są wyparownikami podciśnieniowymi w których do odparowania wody morskiej wykorzystuje się ciepło wody chłodzącej silnik główny. Losowy charakter obciążeń silników głównych sprawia, że podobny charakter mają rzeczywiste charakterystyki wydajności wyparowników. Dla obliczenia ilości wody słodkiej, która może być wytworzona przez wyparownik, zastosowano metodę podaną w pracy [6]. W tym przypadku konieczna jest znajomość charakterystyki wydajności wyparownika w zależności od obciążenia silnika głównego  $\bar{Q}_{WY} = f(\bar{N}_{SG})$ . Określano średnią wydajność wyparownika  $D_{WY}^{sr}$  odchylenie standardowe  $\sigma_{WY}$ .

W tab.7 przedstawiono wyniki obliczeń dotyczące parametrów rozkładu możliwych wydajności wyparowników 6 pogłębiarek w czasie wykonywania robót pogłębiarskich. Parametry rozkładu wydajności podano z podziałem na czynności wchodzące w skład robót pogłębiarskich oraz łącznie dla całego stanu roboty pogłębiarskie z uwzględnieniem struktury czasów trwania poszczególnych czynności [5]. Do obliczeń przyjęto identyczne silniki jak w przypadku obliczeń dotyczących kotłów utylizacyjnych (silniki średnioobrotowe firmy Wartsila [7]). Parametry rozkładów eksploatacyjnych obciążeń silników podczas wykonywania czynności wchodzących w skład robót pogłębiarskich określono na podstawie własnych badań eksploatacyjnych [2,5].

**Tablica 7**

Parametry rozkładu możliwych wydajności wyparowników na 6 analizowanych pogłębiarkach ssących nasiębiernych

| Typowielkość pogłębiarki | Roboty pogłębiarskie |               | Pływanie bez i z ładunkiem |               | Załadunek     |               | Rozładunek hydrauliczny |               |
|--------------------------|----------------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|
|                          | $D_{WY}^{sr}$        | $\sigma_{WY}$ | $D_{WY}^{sr}$              | $\sigma_{WY}$ | $D_{WY}^{sr}$ | $\sigma_{WY}$ | $D_{WY}^{sr}$           | $\sigma_{WY}$ |
|                          | t/d                  | t/d           | t/d                        | t/d           | t/d           | t/d           | t/d                     | t/d           |
|                          |                      |               |                            |               |               |               |                         |               |

|                   |       |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Pogłębiarka 1500  | 1,71  | 0,11 | 0,47 | 0,13 | 0,78 | 0,1  | 0,46 | 0,09 |
| Pogłębiarka 2500  | 2,94  | 0,18 | 0,83 | 0,23 | 1,32 | 0,16 | 0,79 | 0,15 |
| Pogłębiarka 4000  | 4,52  | 0,25 | 1,49 | 0,33 | 1,67 | 0,22 | 1,35 | 0,22 |
| Pogłębiarka 6500  | 7,79  | 0,43 | 2,46 | 0,51 | 2,71 | 0,39 | 2,62 | 0,38 |
| Pogłębiarka 9000  | 11,53 | 0,56 | 3,95 | 0,79 | 4,16 | 0,5  | 3,42 | 0,48 |
| Pogłębiarka 12000 | 12,41 | 0,63 | 4,23 | 0,85 | 4,46 | 0,54 | 3,76 | 0,53 |

Z analizy wyników przedstawionych w tab. 6 i 7 wynika, że możliwości pełnego pokrycia zapotrzebowania wody słodkiej istnieją dla pogłębiarek o pojemnościach ładowni około 9000 m<sup>3</sup> i większych. Analizując dane techniczne pogłębiarek zawarte w bazie DRAGA okazuje jednak, że występowanie wyparowników na pogłębiarkach ssących nasiębiernych jest sporadyczne (i tylko na największych jednostkach). Co jest powodem takiego stanu rzeczy? Wielce prawdopodobne przyczyny są następujące:

- Mała wartość autonomiczności pogłębiarek ssących nasiębiernych (najczęściej 20–30 dób) powoduje możliwości uzupełniania zapasów wody równoległe z poborem paliwa, również wymagane pojemności zbiorników zapasowych nie są duże;
- Armatorzy unikają eksploatacji wyparowników w rejonach przybrzeżnych, stąd wyparowniki mogą pracować właściwie tylko podczas przemieszczania się pogłębiarki z miejsca załadunku na miejsce rozładunku (i odwrotnie) a to powoduje ograniczenie ich dobowych wydajności. Dlatego też wyparowniki występują są na bardzo dużych pogłębiarkach, które dodatkowo projektowane są dla dużych odległości pomiędzy załadunkiem a rozładunkiem (co najmniej kilkadziesiąt Mm).

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza upoważnia do sformułowania następujących uwag i wniosków:

- możliwości pokrywania zapotrzebowania energii cieplnej przez kotły utylizacyjne jest zależne od typu układu energetycznego pogłębiarki. Zdecydowanie najlepszym pod tym względem jest najczęściej stosowany układ, w którym silniki główne pokrywają całe zapotrzebowanie na energię stwarzane przez odbiorniki główne i pomocnicze, zaś silniki pomocnicze pokrywają zapotrzebowanie tylko w czasie postoju silników głównych. Inne typy układu energetycznego, ze względu na niskie obciążenia silników głównych podczas załadunku i rozładunku, nie są w stanie samodzielnie pokrywać zapotrzebowanie na energię cieplną;
- przeprowadzona analiza ekonomiczna wykazała, że zastosowanie kotłów utylizacyjnych może być uzasadnione ekonomicznie już na pogłębiarkach o pojemności ładowni 4000 m<sup>3</sup>. Zależy to od prognozowanego czasu pracy pogłębiarki w ciągu roku, im dłuższy czas eksploatacji tym szybszy zwrot kosztów inwestycji;
- zastosowanie paliwa ciężkiego jest bardzo często powiązane z zastosowaniem kotłów utylizacyjnych. Na podstawie danych zawartych w bazie DRAGA można stwierdzić, że około 90% pogłębiarek ssących nasiębiernych, na których spalane jest paliwo ciężkie wyposażonych jest w kotły utylizacyjne.
- pomimo, że analiza wykazała uzasadnioną możliwość stosowania wyparowników na pogłębiarkach o pojemnościach ładowni powyżej 9000 m<sup>3</sup>, występowanie wyparowników na pogłębiarkach ssących nasiębiernych jest sporadyczne, głównie przez małą autonomiczność pogłębiarek oraz unikanie eksploatacji wyparowników przez armatorów w strefach przybrzeżnych.



## Literatura

- [1] Balcerski A., Bocheński D.: *Methods of estimating a real demand for fresh water on merchant ships*. Bulletin of the Maritime Institute in Gdańsk, vol. XXI, no 2/1994
- [2] Bocheński D. (kierownik projektu) i in.: *Badania identyfikacyjne energochłonności i parametrów urabiania oraz transportu urobku na wybranych pogłębiarek i refulerów*. Raport końcowy projektu badawczego KBN nr 9T12C01718. Prace badawcze WOiO PG nr 8/2002/PB, Gdańsk 2002.
- [3] Bocheński D.: *Baza danych DRAGA i możliwości jej wykorzystania w projektowaniu układów energetycznych pogłębiarek*. W:[Mat] XXIII Sympozjum Siłowni Okrętowych SymSO 2002. Akademia Morska, Gdynia 2002
- [4] Bocheński D.: *Analysis of possibility and purposefulness of application of waste-heat boilers to trailing suction hopper dredgers*. Journal of Polish CIMAC, Energetic Aspects vol. 5, nr 1, Gdańsk 2010
- [5] Bocheński D.: *Projektowanie wstępne siłowni pogłębiarek z zastosowaniem metod i modeli probabilistycznych*. Seria Monografie 142, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 2013
- [6] Bocheński D., Balcerski A.: *Selection of the fresh water supply system parameters for fish factors trawlers*. Polish Maritime Research, vol.5, 2/1998.
- [7] Katalogi silników średnioobrotowych firmy Wartsila 2010–2015